

UNTERSUCHUNGEN
DER LINKSVENTRIKULÄREN
FUNKTION BEI PATIENTEN
MIT AORTENINSUFFIZIENZ
ZUR ERMITTLUNG DES OPTIMALEN
OPERATIONSZEITPUNKTES

Caroline Rudolph



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus dem Institut für Radiologie,
Deutsches Herzzentrum München
des
Freistaates Bayern
Vorstand: Prof.Dr.med. Ulrich Klein

UNTERSUCHUNGEN DER LINKSVENTRIKULÄREN FUNKTION
BEI PATIENTEN MIT AORTENINSUFFIZIENZ ZUR ERMITTLUNG
DES OPTIMALEN OPERATIONSZEITPUNKTES.

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
an der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Caroline Rudolph

aus
München

Jahr
1986

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Universität München

Berichterstatter:	Professor Dr. U. Klein
Mitberichterstatter:	Professor Dr. J. Lissner
Dekan:	Professor Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 27. Mai 1986

An dieser Stelle möchte ich den Mitarbeitern der Arbeitsgruppe valvuläre Herzerkrankung, vor allem Frau Dr.med. Felicitas Kraus danken, die in zahlreichen Diskussionen und Gesprächen wesentlich zum Entstehen dieser Arbeit beigetragen hat. Mein besonderer Dank gebührt Herrn Professor Dr.med. Ulrich Klein für seine tatkräftige Unterstützung und wohlwollende Förderung.

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. EINLEITUNG	1
1.1. Faktoren, die den Operationszeitpunkt beeinflussen	1
1.1.1. Ätiologie der Aorteninsuffizienz	1
1.1.2. Ausmaß der Regurgitation	2
1.1.3. Zustand der Ventrikelfunktion	2
1.1.4. Symptomatik mit Beziehung zur Hämodynamik	3
1.1.5. Operationsletalität	3
1.1.6. Beeinträchtigte Hämodynamik bei künstlicher Herzklappe	3
1.1.7. Komplikationen bei künstlicher Herzklappe	4
1.1.7.1. Embolie	4
1.1.7.2. Blutung	4
1.1.7.3. Klappendysfunktion	4
1.1.7.4. Infektiöse Endokarditis	4
1.1.7.5. Spätletalität	4
1.2. Optimaler Operationszeitpunkt	5
1.3. Bestimmung von Regurgitationsausmaß und reversibler Ventrikelfunktionsstörung	5
1.4. Vorliegende Untersuchungen zur präoperativen Erkennung postoperativ reversibler Ventrikelfunktionsstörungen	6
1.5. Einteilungsprinzip der eigenen Untersuchungen zur Ermittlung präoperativer Kriterien für den optimalen Operationszeitpunkt	7

2.	KRANKENGUT	8
2.1.	Ein- und Ausschlußkriterien	8
2.1.1.	Präoperative klinische und hämodynamische Daten	8
2.1.2.	Präoperative Belastungsuntersuchung	8
2.1.3.	Operationsindikation und Klappenersatz	9
2.1.4.	Postoperative Belastungsuntersuchung	9
2.1.5.	Zusätzliche Erkrankungen	9
3.	METHODIK	11
3.1.	Untersuchungsablauf und Prüfparameter	11
3.2.	Ergometrie	12
3.3.	Radionuklidventrikulographie	13
3.3.1.	Reproduzierbarkeit der radionuklidventrikulographisch bestimmten Auswurffractionen	21
3.3.2.	Evaluiierung der radionuklidventrikulographisch bestimmten Auswurffraction anhand der kontrastmittelventrikulographisch ermittelten Auswurffraction	24
3.4.	Druckmessung in der Art. pulmonalis	28
3.5.	Messung des Herzminutenvolumens	32
3.6.	Bestimmung der Sauerstoffsättigung in der Art. pulmonalis	38
3.7.	Bestimmung von Herzfrequenz und Blutdruck	39
3.8.	Ermittlung der New-York-Heart-Association-Klassifikation	39
3.9.	Statistische Auswertung	39

4.	ERGEBNISSE	41
4.1.	Präoperative Untersuchungen in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normalem Verhalten der Auswurffraktion	41
4.1.1.	Globale Auswurffraktion	41
4.1.2.	Regionale Auswurffraktion - posterolateraler Bereich	42
4.1.3.	Regionale Auswurffraktion - apikoinferiorer Bereich	43
4.1.4.	Regionale Auswurffraktion - anteroseptaler Bereich	43
4.1.5.	Maximale Entleerungsrate	43
4.1.6.	Maximale Füllungsrate	44
4.1.7.	Pulmonalarteriendruck	46
4.1.8.	Herzminutenvolumen	46
4.1.9.	Sauerstoffsättigung in der Art. pulmonalis	47
4.1.10.	Herzfrequenz	47
4.1.11.	Blutdruck	47
4.2.	Postoperative Untersuchungen in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normalem Verhalten der Auswurffraktion	51
4.2.1.	Globale Auswurffraktion	51
4.2.2.	Regionale Auswurffraktion - posterolateraler Bereich	53
4.2.3.	Regionale Auswurffraktion - apikoinferiorer Bereich	53
4.2.4.	Regionale Auswurffraktion - anteroseptaler Bereich	53
4.2.5.	Maximale Entleerungsrate	54
4.2.6.	Maximale Füllungsrate	55
4.2.7.	Pulmonalarteriendruck	56
4.2.8.	Herzminutenvolumen	56
4.2.9.	Sauerstoffsättigung in der Art. pulmonalis	57
4.2.10.	Herzfrequenz	57
4.2.11.	Blutdruck	58

4.3.	Präoperative Untersuchungen in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ pathologischem Verhalten der Auswurffraktion	61
4.3.1.	Globale Auswurffraktion	61
4.3.2.	Regionale Auswurffraktion - posterolateraler Bereich	62
4.3.3.	Regionale Auswurffraktion - apikoinferiorer Bereich	63
4.3.4.	Regionale Auswurffraktion - anteroseptaler Bereich	63
4.3.5.	Maximale Entleerungsrate	64
4.3.6.	Maximale Füllungsrate	64
4.3.7.	Pulmonalarteriendruck	65
4.3.8.	Herzminutenvolumen	65
4.3.9.	Sauerstoffsättigung in der Art. pulmonalis	66
4.3.10.	Herzfrequenz	66
4.3.11.	Blutdruck	67
4.4.	Postoperative Untersuchungen in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ pathologischem Verhalten der Auswurffraktion	70
4.4.1.	Globale Auswurffraktion	70
4.4.2.	Regionale Auswurffraktion - posterolateraler Bereich	71
4.4.3.	Regionale Auswurffraktion - apikoinferiorer Bereich	72
4.4.4.	Regionale Auswurffraktion - anteroseptaler Bereich	72
4.4.5.	Maximale Entleerungsrate	73
4.4.6.	Maximale Füllungsrate	73
4.4.7.	Pulmonalarteriendruck	74
4.4.8.	Herzminutenvolumen	74
4.4.9.	Sauerstoffsättigung in der Art. pulmonalis	75
4.4.10.	Herzfrequenz	75
4.4.11.	Blutdruck	76

4.5.	Prä- und postoperative Veränderungen von Ven- trikelfunktion und Hämodynamik in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normalem Verhalten der Auswurffraktion	79
4.5.1.	Globale Auswurffraktion	80
4.5.2.	Regionale Auswurffraktion - posterolateraler Bereich	81
4.5.3.	Regionale Auswurffraktion - apikoinferiorer Bereich	82
4.5.4.	Regionale Auswurffraktion - anteroseptaler Bereich	83
4.5.5.	Maximale Entleerungsrate	84
4.5.6.	Maximale Füllungsrate	85
4.5.7.	Pulmonalarteriendruck	86
4.5.8.	Herzminutenvolumen	88
4.5.9.	Sauerstoffsättigung in der Art. pulmonalis	89
4.5.10.	Herzfrequenz	90
4.5.11.	Blutdruck	91
4.5.12.	New-York-Heart-Association-Klassifikation	92
4.6.	Prä- und postoperative Veränderungen von Ventrikel- funktion und Hämodynamik in Ruhe und unter Bela- stung bei Patienten mit postoperativ pathologischem Verhalten der Auswurffraktion	93
4.6.1.	Globale Auswurffraktion	94
4.6.2.	Regionale Auswurffraktion - posterolateraler Bereich	95
4.6.3.	Regionale Auswurffraktion - apikoinferiorer Bereich	96
4.6.4.	Regionale Auswurffraktion - anteroseptaler Bereich	98
4.6.5.	Maximale Entleerungsrate	99
4.6.6.	Maximale Füllungsrate	100
4.6.7.	Pulmonalarteriendruck	101
4.6.8.	Herzminutenvolumen	103
4.6.9.	Sauerstoffsättigung in der Art. pulmonalis	104
4.6.10.	Herzfrequenz	105
4.6.11.	Blutdruck	106
4.6.12.	New-York-Heart-Association-Klassifikation	108

4.7.	Untersuchungen über die Wertigkeit präoperativer Parameter für die Vorhersage der postoperativen Ventrikelfunktion	109
4.7.1.	Globale Auswurffraktion, mittlere normalisierte systolische Auswurfrate, prozentuale Faserverkürzung	113
4.7.2.	Regionale Auswurffraktionen	114
4.7.3.	Endsystolische und enddiastolische Volumina und Dimensionen	116
4.7.4.	Endsystolische, enddiastolische und spitzensystolische Wandspannung, Volumen-Masse-Quotient	117
4.7.5.	Pulmonalarteriendruck und Herzminutenvolumen in Ruhe und unter Belastung	118
4.7.6.	New-York-Heart-Association-Klassifikation	120
4.7.7.	Globale Auswurffraktion in Ruhe und unter Belastung in Kombination mit dem endsystolischen Volumen	121
4.7.8.	Mittlere normalisierte systolische Auswurfrate in Kombination mit dem endsystolischen Volumen	124
4.7.9.	Herzminutenvolumen unter 50 Watt Belastung in Kombination mit dem endsystolischen Volumen	125
4.7.10.	Enddiastolisches Volumen in Kombination mit dem endsystolischen Volumen	126
4.7.11.	Endsystolische Wandspannung in Kombination mit dem endsystolischen Volumen	127
4.7.12.	Spitzensystolische Wandspannung in Kombination mit dem endsystolischen Volumen	128
4.7.13.	Prozentuale Faserverkürzung in Kombination mit dem endsystolischen Diameter	129
4.7.14.	Enddiastolischer Diameter in Kombination mit dem endsystolischen Diameter	130
4.7.15.	Endsystolische Wandspannung in Kombination mit dem endsystolischen Diameter	131
4.7.16.	Spitzensystolische Wandspannung in Kombination mit dem endsystolischen Diameter	132

5.1.	Verhalten der präoperativen globalen und regionalen Auswurffraktionen sowie der maximalen Entleerungs- und Füllungsrate in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler oder eingeschränkter Ventrikelfunktion	145
5.1.1.	Auswurffraktion - eigene Ergebnisse	145
5.1.2.	Auswurffraktion - Ergebnisse in der Literatur	146
5.1.3.	Auswurffraktion - Beeinflussung durch die angewandte Methodik	146
5.1.4.	Auswurffraktion - Determinanten	149
5.1.5.	Maximale Entleerungs- und Füllungsrate - eigene Ergebnisse	152
5.1.6.	Maximale Entleerungs- und Füllungsrate - Ergebnisse in der Literatur	152
5.2.	Verhalten der postoperativen globalen und regionalen Auswurffraktionen sowie der maximalen Entleerungs- und Füllungsrate in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler oder eingeschränkter Ventrikelfunktion	153
5.2.1.	Auswurffraktion - eigene Ergebnisse	153
5.2.2.	Auswurffraktion - Ergebnisse in der Literatur	154
5.2.3.	Maximale Entleerungs- und Füllungsrate - eigene Ergebnisse	154

5.3.	Prä- und postoperative Veränderungen der globalen und regionalen Auswurffractionen sowie der maximalen Entleerungs- und Füllungsrate in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normalem oder pathologischem Verhalten der Auswurffraction	155
5.3.1.	Auswurffraction - eigene Ergebnisse	155
5.3.2.	Maximale Entleerungs- und Füllungsrate - eigene Ergebnisse	157
5.3.3.	Auswurffraction - Ursache der postoperativen Verbesserung	157
5.3.4.	Prä-/postoperative Auswurffraction - Ergebnisse in der Literatur	158
5.3.5.	Prä-/postoperative Auswurffraction - Normalisierung	158
5.3.5.1.	Wert der präoperativen Auswurffraction, der mittleren normalisierten systolischen Auswurfrate und der prozentualen Faserverkürzung für die Vorhersage der postoperativen Ventrikelfunktion	159
5.3.5.2.	Wert des endsystolischen bzw. enddiastolischen Volumens oder Diameters für die Vorhersage der postoperativen Ventrikelfunktion	160
5.3.5.3.	Wert der präoperativen Wandspannung und des Volumenmassequotienten für die Vorhersage der postoperativen Ventrikelfunktion	161
5.3.5.4.	Wert des präoperativ ermittelten Pulmonalarterien- drucks und Herzminutenvolumens in Ruhe und unter Belastung für die Vorhersage der postoperativen Ventrikelfunktion	161
5.3.5.5.	Wert der präoperativen Symptomatik für die Vorhersage der postoperativen Ventrikelfunktion	162
5.3.5.6.	Wert der Kombination von Auswurffraction und endsystolischem Volumen bzw. Faserverkürzung und endsystolischem Diameter für die Vorhersage einer postoperativen Ventrikelfunktion	162
5.3.5.7.	Wert der Kombination von enddiastolischem Volumen und endsystolischem Volumen bzw. enddiastolischem Diameter und endsystolischem Diameter für die Vorhersage der postoperativen Ventrikelfunktion	163

5.3.5.8.	Wert der Kombination von spitzensystolischer Wandspannung bzw. endsystolischer Wandspannung und endsystolischem Volumen bzw. endsystolischem Diameter für die Vorhersage der postoperativen Ventrikelfunktion	164
5.3.5.9.	Wert der Kombination von Herzminutenvolumen und endsystolischem Volumen zur Vorhersage einer post- operativen Ventrikelfunktion	164
5.3.6.	Festlegung des optimalen Operationszeitpunktes mit Hilfe der Parameter zur Erkennung einer post- operativ normalen oder pathologischen Ventrikelfunk- tion	165
5.4.	Verhalten des prä- und postoperativen Pulmonal- arteriendrucks in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler oder eingeschränkter Ventrikelfunktion	165
5.4.1.	Verhalten bei Patienten mit postoperativ normaler Ventrikelfunktion	165
5.4.2.	Verhalten der Patienten mit postoperativ eingeschränkter Ventrikelfunktion	166
5.4.3.	Ursache des erhöhten Druckanstiegs im kleinen Kreislauf präoperativ und des Abfalls postope- rativ	167
5.5.	Verhalten des prä- und postoperativen Herz- minutenvolumens in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler oder einge- schränkter Ventrikelfunktion	168
5.5.1.	Verhalten bei Patienten postoperativ mit normaler Ventrikelfunktion	168
5.5.2.	Verhalten von Patienten mit postoperativ eingeschränkter Ventrikelfunktion	168
5.5.3.	Mechanismen, die das Herzminutenvolumen aufrechterhalten	169

5.6.	Verhalten der prä- und postoperativen Sauerstoff- sättigung in der Art. pulmonalis in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler oder eingeschränkter Ventrikelfunktion	169
5.6.1.	Verhalten bei Patienten mit normaler Ventrikel- funktion	169
5.6.2.	Verhalten von Patienten mit postoperativ einge- schränkter Ventrikelfunktion	170
5.7.	Verhalten der prä- und postoperativen Herzfrequenz in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler oder eingeschränkter Ventrikelfunktion	170
5.7.1.	Verhalten bei Patienten mit postoperativ normaler Ventrikelfunktion	170
5.7.2.	Verhalten von Patienten mit postoperativ einge- schränkter Ventrikelfunktion	171
5.8.	Verhalten des prä- und postoperativen Blutdrucks in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit post- operativ normaler oder eingeschränkter Ventrikel- funktion	171
5.8.1.	Verhalten bei Patienten mit normaler Ventrikel- funktion	171
5.8.2.	Patienten mit postoperativ eingeschränkter Ventrikelfunktion	172

5.9.	Verhalten der prä- und postoperativen Symptomatik bei Patienten mit postoperativ normaler oder ein- geschränkter Ventrikelfunktion	172
5.9.1.	Verhalten der Patienten mit postoperativ normaler Ventrikelfunktion	172
5.9.2.	Verhalten der Patienten mit postoperativ einge- schränkter Ventrikelfunktion	173
6.	ZUSAMMENFASSUNG	174
7.	LITERATURVERZEICHNIS	180

1. EINLEITUNG

1.1. Faktoren, die den Operationszeitpunkt beeinflussen

Für die Beurteilung des optimalen Operationszeitpunktes bei Patienten mit Aorteninsuffizienz muß eine Reihe von Faktoren berücksichtigt werden, die einerseits den natürlichen Verlauf der Erkrankung entscheidend beeinflussen, wie Ätiologie der Aorteninsuffizienz, Ausmaß der Regurgitation und linksventrikuläre Funktion, und die andererseits als Folge des künstlichen Herzklappenersatzes unvermeidbar sind oder auftreten können, wie beeinträchtigte Hämodynamik, Operationsletalität und von der Kunstklappe ausgehende Komplikationen (38, 76, 77, 78, 84, 90). Die Symptomatik, der hinsichtlich der Operationsindikation noch immer eine große Bedeutung zugemessen wird, basiert letztlich auf dem Ausmaß der Regurgitation und dem Zustand der linksventrikulären Funktion. Somit stellt die Symptomatik keinen eigenständigen, den Verlauf der Erkrankung beeinflussenden Faktor dar.

1.1.1. Ätiologie der Aorteninsuffizienz

Eine Aorteninsuffizienz infolge einer Aortendissektion, einer infektiösen Endokarditis oder eines Traumas weist meist einen akuten Verlauf auf und stellt eine beträchtliche Gefährdung des Patienten dar. Das Herz wird in der Regel unvorbereitet mit einer Volumenbelastung konfrontiert, die zu einer starken Verminderung des Herzminutenvolumens und einer Erhöhung des linksventrikulären enddiastolischen Drucks führt. Beide Veränderungen können so stark sein, daß sie mit dem Leben nicht vereinbar sind. Außerdem besteht bei der Aortendissektion die Gefahr einer tödlichen Ruptur und bei der infektiösen Endokarditis die Gefahr einer unkontrollierbaren Infektion infolge Übergreifens des entzündlichen Prozesses auf das Myokard sowie

der Embolisierung (32, 82). Somit ist bei akuter Aorteninsuffizienz ein rasches operatives Vorgehen notwendig. Dagegen weist eine Aorteninsuffizienz nach rheumatischer Karditis oder nach zunehmender Degeneration primär kongenital mißgebildeter Klappensegel einen chronischen Verlauf auf. Die Veränderungen an den Klappen entwickeln sich langsam, und dem Herzen bleibt genügend Zeit zur kompensatorischen Hypertrophieentwicklung. Über viele Jahre wird auf diese Weise eine ausreichende Pumpfunktion des Herzens gewährleistet.

1.1.2. Ausmaß der Regurgitation

Erst wenn bei Aorteninsuffizienz die Regurgitation ein beträchtliches oder schweres Ausmaß erreicht hat, d.h. die Regurgitationsfraktion mehr als 50% beträgt, ist eine Schädigung des Herzens infolge Überlastung und damit eine ungünstige Beeinflussung des weiteren Verlaufs zu erwarten. Patienten mit Aorteninsuffizienz geringeren Ausmaßes mit einem künstlichen Klappenersatz zu behandeln, ist aus diesem Grunde nicht nur nicht notwendig, sondern muß wegen der mit dieser Maßnahme verbundenen Probleme als nicht gerechtfertigt betrachtet werden (49, 62,).

1.1.3. Zustand der Ventrikelfunktion

Der Ventrikelfunktion kommt für den Verlauf der Erkrankung bei Patienten mit Aorteninsuffizienz eine entscheidende Bedeutung zu (8, 11, 18, 64). In mehreren Studien konnte gezeigt werden, daß selbst nach operativer Korrektur einer schweren Aorteninsuffizienz bei Vorliegen einer postoperativ eingeschränkten Ventrikelfunktion eine verminderte Lebenserwartung besteht (2, 24, 27, 29, 33, 40, 42, 43, 80, 85, 89, 101, 103). Insofern empfiehlt es sich nicht, erst dann einen operativen Eingriff vornehmen zu lassen, wenn bereits eine irreversible Myokardschädigung vorliegt.

1.1.4. Symptomatik mit Beziehung zur Hämodynamik

Selbstverständlich wird man bei den Überlegungen, ob bei einem Patienten mit Aorteninsuffizienz ein operativer Eingriff durchgeführt werden soll, auch die Symptomatik mit einbeziehen. Da aber keine gute Korrelation zwischen den von dem Patienten empfundenen und geschilderten Beschwerden einerseits und der durch die Aorteninsuffizienz veränderten Hämodynamik andererseits besteht, sollte ihr nur Bedeutung beigemessen werden, wenn sie mit entsprechenden hämodynamischen Veränderungen einhergeht (55).

1.1.5. Operationsletalität

Die Operationsletalität liegt in der Bundesrepublik Deutschland in den letzten Jahren bei etwa 4% mit Schwankungen zwischen 2 und 6%. Sie kann im Einzelfall 10% und mehr betragen. Diese gegenüber früher günstige Operationsletalität konnte in den letzten Jahren durch Verbesserungen der Operationstechnik, besonders durch die regelmäßige Anwendung der Kardioplegie, erzielt werden (68).

1.1.6. Beeinträchtigte Hämodynamik bei künstlicher Herzklappe

Eine künstliche Aortenklappe, sei es eine mechanische oder biologische Prothese, führt zu hämodynamischen Veränderungen, die bei einer natürlichen Klappe nicht auftreten (54, 56, 57). In der Regel besteht eine mehr oder weniger stark ausgeprägte linksventrikuläre Ausflußbahnobstruktion. Der Druckgradient liegt bei den herkömmlichen Prothesen in Ruhe etwa bei 5 - 20 mmHg und kann unter Belastung deutlich, zum Teil bis 40 - 50 mmHg, ansteigen. Kunstklappen mit kleinem Durchmesser gehen mit besonders hohen Druckgradienten einher (68).

1.1.7. Komplikationen bei künstlicher Herzklappe

Die von den künstlichen Herzklappen ausgehenden Komplikationsmöglichkeiten stellen weiterhin ein schwerwiegendes Problem dar.

1.1.7.1. Embolie

Aufgrund von Untersuchungen im Krankengut des Deutschen Herzzentrums ist bei mechanischen Klappen, die einer Dauerantikoagulation bedürfen, mit einer Embolierate von 1,9% pro Patientenjahr zu rechnen. Biologische Klappen, die nur unter bestimmten Bedingungen einer Antikoagulation bedürfen, wie z.B. bei vorausgegangenen Embolien oder Vorhofflimmern, weisen eine relativ niedrige Embolierate auf (68).

1.1.7.2. Blutung

Die Blutungsrate ist bei antikoagulierten Patienten mit 2 - 3% pro Patientenjahr anzusetzen (68).

1.1.7.3. Klappendysfunktion

Klappendysfunktionen sind bei mechanischen Prothesen selten, obwohl Defekte mit Todesfolge auftreten können. Dagegen weisen biologische Klappen eine begrenzte Haltbarkeit auf, so daß nach den bisher vorliegenden Erfahrungen ab dem 5. Jahr mit einer deutlichen Dysfunktionsrate gerechnet werden muß. Diese dysfunktionierenden Prothesen erfordern eine Reoperation des Patienten (68).

1.1.7.4. Infektiöse Endokarditis

Eine Anfälligkeit für infektiöse Endokarditis besteht bei beiden Klappentypen. Ihre Inzidenz wird mit 0,3 - 0,8% pro Patientenjahr angegeben (68).

1.1.7.5. Spätletalität

Insgesamt beträgt die Spätletalität nach Aortenklappenersatz 2 - 3% pro Patientenjahr (68).

1.2. Optimaler Operationszeitpunkt

Unter Berücksichtigung aller dieser Faktoren ist der optimale Zeitpunkt für eine Operation bei Patienten mit Aorteninsuffizienz, abgesehen von dem akuten Geschehen bei Aortendissektion, infektiöser Endokarditis oder Trauma, dann gegeben, wenn eine schwere oder beträchtliche Regurgitation vorliegt und sich die linksventrikuläre Funktion in der Übergangszone zwischen normal und pathologisch bewegt (9, 10, 22, 80), ohne daß bereits irreversible Myokardstörungen aufgetreten sind. Bei dieser optimalen Operationsindikation kann es durchaus vorkommen, daß die Patienten keine oder nur geringe Symptome, gewertet an gleichzeitig gemessener Hämodynamik, aufweisen.

1.3. Bestimmung von Regurgitationsausmaß und reversibler Ventrikelfunktionsstörung

Die Bestimmung des Ausmaßes der Regurgitation mit den heute zur Verfügung stehenden invasiven und nicht invasiven Methoden stößt auf keine größeren Schwierigkeiten. Hämodynamische Messungen mit Hilfe des Swan-Ganz-Katheters zur Evaluation der Symptomatik können selbst auf ambulanter Basis durchgeführt werden. Die Abschätzung, ob und in wie weit die Ventrikelfunktion bereits solche Einschränkungen erfahren hat, daß postoperativ mit irreversiblen Myokardschädigungen gerechnet werden muß, bereitet selbst unter Hinzuziehung komplexer präoperativer Daten größere Schwierigkeiten (19, 27, 97, 104). Die Erfassung der ersten Zeichen des Übergangs einer reversiblen in eine irreversible Ventrikelfunktionsstörung und die Vorhersage einer postoperativ normalen Ventrikelfunktion aufgrund präoperativer Befunde sind somit die entscheidenden, noch zu lösenden Probleme.

1.4. Vorliegende Untersuchungen zur präoperativen Erkennung postoperativ reversibler Ventrikelfunktionsstörungen

Zur präoperativen Erkennung einer solchen postoperativ noch reversiblen myokardialen Störung wurden von mehreren Autoren Untersuchungen durchgeführt und verschiedene Parameter evaluiert. Als Einteilungsprinzip für die Wertung präoperativer Daten wurden das postoperative Verhalten des klinischen Status gemäß der New-York-Heart-Association-Klassifikation, das Verhalten der spätpostoperativen Letalität sowie das Verhalten der Herzgröße gelegentlich unter Berücksichtigung der Herzhypertrophie gewählt (28, 35, 60, 100). Nur vereinzelt wurde als postoperatives Einteilungsprinzip das Ergebnis der echokardiographisch bestimmbaren prozentualen Faserverkürzung herangezogen (29, 42). Diese kann nur bei einer limitierten Anzahl von Patienten Anwendung finden, da postoperativ häufig Störungen der Septumbewegung vorliegen. In den früheren Studien wurden unter Anwendung des genannten postoperativen Einteilungsprinzips außerdem nur wenige präoperative Parameter analysiert und deren Grenzen zwischen normaler und postoperativ eingeschränkter Ventrikelfunktion willkürlich und nicht mathematisch ermittelt. Dieselben Einschränkungen treffen auch für die Studien zu, die ein präoperatives Einteilungsprinzip benutzen und unter diesem Gesichtspunkt die postoperativen Ergebnisse evaluierten (25, 41).

1.5. Einteilungsprinzip der eigenen Untersuchungen zur Ermittlung präoperativer Kriterien für den optimalen Operationszeitpunkt

In den vorliegenden Untersuchungen zur Ermittlung präoperativer Kriterien für den optimalen Operationszeitpunkt wurde als Klassifikationsprinzip die postoperative, mit Hilfe von Radionukliden ermittelte Auswurffraktion gewählt, da uns keine Arbeiten bekannt sind, bei denen das Verhalten der postoperativen Ventrikelfunktion als Einteilungsprinzip zugrunde gelegt wurde und bei Pilotstudien ermittelt werden konnte, daß die Auswurffraktion zur Erkennung einer irreversiblen Ventrikelfunktionsstörung sensibler ist als hämodynamische Daten, Herzgröße und Symptomatik. Die Auswurffraktion galt als normal, wenn sie in Ruhe und unter Belastung mit 50 Watt 55% oder mehr betrug, und als pathologisch, wenn sie diesen Wert unterschritt. Eine gleichzeitige Messung von Herzminutenvolumen, Druck und Sauerstoffsättigung im kleinen Kreislauf, Blutdruck und Herzfrequenz auch unter Belastung wurden vorgenommen, um die Symptomatik der Patienten zu bewerten und eine Beziehung zwischen Auswurffraktion und Hämodynamik herstellen zu können.

2. KRANKENGUT

2.1. Ein- und Ausschlusskriterien

In die prospektiv angelegte Studie wurden 37 konsekutiv in das Deutsche Herzzentrum eingewiesene Patienten, 31 Männer und 6 Frauen im Alter zwischen 29 und 70 Jahren, mit beträchtlicher oder schwerer Aorteninsuffizienz, d.h. einer Regurgitationsfraktion $>50\%$ aufgenommen, die folgende Kriterien erfüllten (Tab. 1):

2.1.1. Präoperative klinische und hämodynamische Daten

Es mußten umfangreiche klinische und hämodynamische Daten bestimmbar sein: Herzfrequenz, Blutdruck, kardiale und intravasale Drucke, Herzminutenvolumen, Schlagvolumen, arteriovenöse Sauerstoffdifferenz, zentrale venöse Sauerstoffsättigung, Widerstände im großen und kleinen Kreislauf, Ventrikelvolumina, Regurgitationsvolumen, spitzensystolische, endsystolische und enddiastolische Wandspannung, Volumen-Masse-Quotient, regionale und globale Auswurffraktionen, maximale Entleerungs- und Füllungsraten, mittlere normalisierte systolische Auswurfrate, Leistungsindex, Quotient PEP/LVET, Quotienten aus endsystolischem oder spitzensystolischem Druck bzw. Wandspannung und endsystolischem Volumen, Muskel- und Kammersteifigkeit sowie die echokardiographisch bestimmbaren Größen enddiastolische und endsystolische Dimensionen, prozentuale Faserverkürzung, Ventrikelwanddicke und myokardiale Querschnittsfläche (83).

2.1.2. Präoperative Belastungsuntersuchung

Es mußte eine Belastungsuntersuchung mit mindestens 50 Watt durchführbar sein mit Erstellung eines Radionuklid-ventrikulogramms zur Ermittlung der globalen und regionalen Auswurffraktionen sowie der maximalen Entleerungs- und Füllungsraten, mit Messung des Drucks und der Sauerstoffsättigung in der Art. pulmonalis, des Herzminutenvolumens, des Blutdrucks und der Herzfrequenz vor und während Belastung.

2.1.3. Operationsindikation und Klappenersatz

Es mußten die Indikation zur Operation gegeben und ein Klappenersatz durchgeführt worden sein. Dabei erhielten 26/37 Patienten eine Björk-Shiley-Prothese, 3/37 Patienten eine Ionescu-Shiley-Prothese, 3/37 Patienten eine Xenomédica-Prothese, 2/37 Patienten eine Hancock-Prothese und jeweils 1/37 Patienten eine Biocor-Prothese, eine Carpentier-Edwards-Prothese oder eine Lillehei-Kaster-Prothese. Bei 3/37 Patienten erfolgte zusätzlich ein Ersatz der Aorta ascendens mittels einer Dacron-Prothese, und bei einem Patienten wurde eine Raffung der Aorta ascendens vorgenommen (Tab. 1).

2.1.4. Postoperative Belastungsuntersuchung

Zur Ermittlung der gleichen Parameter wie präoperativ mußte eine Belastungsuntersuchung 6 Monate postoperativ durchführbar sein. Damit wurden in dieser Studie die Daten der Patienten nicht berücksichtigt, bei denen keine postoperative Belastungsuntersuchung aus unterschiedlichen Gründen, wie Nicht-Einwilligung des Patienten, unzureichende Venenverhältnisse oder operative Letalität usw., möglich war. Auf diese Weise mußte auf eine beträchtliche Anzahl von Patienten, deren präoperative Untersuchungsdaten vollständig vorlagen, leider verzichtet werden.

2.1.5. Zusätzliche Erkrankungen

Es durften keine zusätzlichen Klappenläsionen, andere organische Herzerkrankungen, wie z.B. Koronare Herzerkrankung oder eine die körperliche Leistungsfähigkeit beeinflussende Begleiterkrankung, vorliegen. Lediglich bei 2 Patienten bestand eine geringe relative Mitralinsuffizienz, bei 7 Patienten eine leichte Stenosekomponente an der Aortenklappe und bei einem Patienten ein kleiner Ventrikelseptumdefekt mit einem Links-Rechts-Shunt unter 20% (Tab. 1).

Name	Alter (J)	Geschl.	Diagnose	operative Maßnahmen
JB	41	m	betr. AI	BS A 31
HB	57	m	betr. AI	BS A 29
FE	32	m	betr. AI	JS A 23
OH	48	m	betr. AI	BS A 27
JK	29	m	schwere AI	BS A 29
HK	42	m	betr. AI	BS A 31, Raffung d. Aorta ascendens
AL	62	w	betr. AI	BS A 25, Ersatz d. Aorta ascendens
WM	50	m	betr. AI	BS A 27
JM	37	m	schwere AI	BS A 29
FM	60	m	betr. AI, leichte AS	XE A 28
TP	63	w	betr. AI, leichte AS	CE A 25, Ersatz d. Aorta ascendens
PS	62	w	betr. AI, leichte AS	BS A 23, Ersatz d. Aorta ascendens
AS	48	m	betr. AI	BS A 25
US	40	w	betr. AI, leichte AS	BS A 25
AW	63	w	betr. AI	H A 25
XW	70	m	betr. AI	BS A 27
KY	34	m	betr. AI	BS A 25
JF	45	m	betr. AI, leichte AS	BS A 27
HHa	34	m	betr. AI	H A 27
HHe	52	m	betr. AI	BS A 27
AM	53	w	betr. AI, leichte AS	BS A 25
HS	34	m	betr. AI	BS A 29
WP	48	m	betr. AI	BS A 27
MA	52	m	betr. AI	Biocor A 27
AE	62	m	betr. AI	XE A 28
EK	47	m	betr. AI, leichte MI	LK A 22
JK	47	m	betr. AI, leichte MI	BS A 29
WL	37	m	betr. AI, kleiner VSD	BS A 27
VM	49	m	betr. AI	BS A 27
FN	62	m	betr. AI	BS A 29
GR	49	m	betr. AI	BS A 27
WT	65	m	betr. AI	BS A 29
ES	54	m	betr. AI	BS A 25
HW	46	m	betr. AI	JS A 27
KB	49	m	betr. AI	XE A 28
EE	52	m	betr. AI	JS A 27
RS	51	m	betr. AI, leichte AS	BS A 29

Tab. 1: Alter, Geschlecht, Diagnose und operative Maßnahmen der in die Studie aufgenommenen Patienten mit beträchtlicher (betr.) oder schwerer Aorteninsuffizienz (AI).

BS: Björk-Shiley-Prothese

JS: Jonescu-Shiley-Prothese

XE: Xenomedica-Prothese

LK: Lillehei-Kaster-Prothese

CE: Carpentier-Edwards-Prothese

H: Hancock-Prothese

A: Aortenklappen-Prothese

22 - 31: Größe der Prothese

AS: Aortenstenose

MI: Mitralsuffizienz

VSD: Ventrikelseptumdefekt

3. METHODIK

3.1. Untersuchungsablauf und Prüfparameter

Die umfangreichen klinischen und hämodynamischen Daten wurden den Krankenunterlagen nach eingehender Überprüfung bzw. Nachauswertung entnommen. Die präoperativen Belastungsuntersuchungen erfolgten innerhalb weniger Tage vor oder nach der Herzkatheterisation, die postoperativen Belastungsuntersuchungen ca. 6 Monate nach Klappenersatz (20). Vor und während Belastung wurden die Auswurffraktion, der Pulmonalarteriendruck, das Herzminutenvolumen, die Sauerstoffsättigung in der Art. pulmonalis, die Herzfrequenz und der Blutdruck bestimmt.

Aufgrund des Verhaltens der postoperativen Auswurffraktion wurde eine Einteilung in zwei Gruppen vorgenommen, und zwar in Patienten mit postoperativ normaler Auswurffraktion ($EF > 55\%$) und in Patienten mit postoperativ pathologischer Auswurffraktion ($EF < 55\%$) sowohl in Ruhe als auch unter Belastung mit 50 Watt. Ausgehend von dieser Einteilung wurden prä- und postoperativ das Verhalten der Patienten hinsichtlich Ventrikelfunktion und Hämodynamik in Ruhe und während Belastung analysiert, ein Vergleich zwischen prä- und postoperativen Daten durchgeführt und alle präoperativen Daten im Hinblick auf ihren Wert zur Vorhersagbarkeit der postoperativen Ventrikelfunktion einer Diskriminanzanalyse unterzogen.

3.2. Ergometrie

Die Belastung erfolgte nach dem Steady-State-Verfahren mit einem drehzahlunabhängigen Fahrradergometer bei 60 Umdrehungen pro Minute in halbliegender Position (20°) unter Belastungsstufen von 50 Watt und - falls möglich - 100 oder 150 Watt von jeweils 5 Minuten Dauer (54, 56, 57). Die Belastung wurde symptomlimitiert durchgeführt und nur vereinzelt aufgrund klinischer Abbruchkriterien beendet (Abb. 1). Bei der Auswertung wurde generell die 50 Watt-Belastungsstufe zugrunde gelegt und lediglich bei den Parametern Auswurf-fraktion und Pulmonalarteriendruck auch die maximalen Belastungsstufen berücksichtigt.

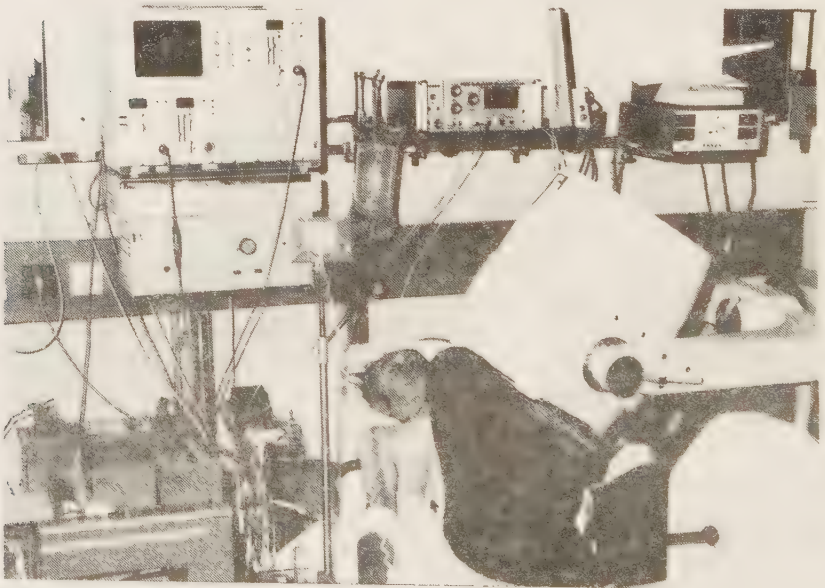


Abb. 1: Belastungsuntersuchung mit Messung der Auswurf-fraktion, des Pulmonalarteriendrucks, des Herzminuten-volumens und der Herzfrequenz mit Hilfe einer Gamma-Kamera, einer Druckverstärkereinheit, eines HMV-Computers und eines EKG-Schreibers.

3.3. Radionuklidventrikulographie

Mit Hilfe der Radionuklidventrikulographie ist es möglich, die zeitliche Änderung des Blutvolumens innerhalb der Herzkammern zu erfassen (3, 94). Hierzu werden Erythrozyten in vivo mit einer radioaktiven Substanz markiert und die Gleichverteilung der Substanz im gesamten Kreislauf abgewartet. Mit Hilfe einer Gamma-Kamera (Abb. 2), d.h. einem Detektor, der die flächenhafte Verteilung der Gamma-Strahlung über den Herzkammern in kurzen Zeiteinheiten registriert, kann die Aktivität des Blutpools innerhalb der Herzkammern bestimmt werden. Bei homogener Verteilung der Markersubstanz im Blut ist die registrierte Aktivität über einer Herzkammer proportional ihrem Volumen. Da zugleich der zeitliche Verlauf der Aktivitätsverteilung registriert wird, ist die Berechnung relativer Größen - wie die der Auswurffraktion - auch ohne Kenntnis des Proportionalitätsfaktors möglich.

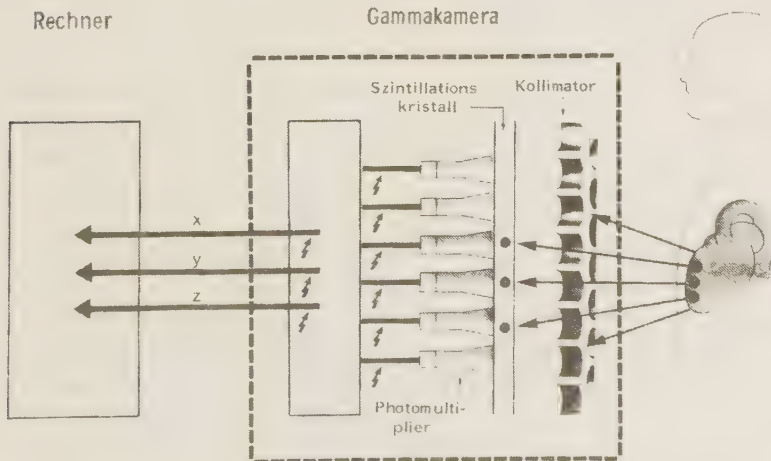


Abb. 2: Schematischer Aufbau eines Einkristall-Gamma-Kamera-Systems.

Da zur genauen Abgrenzung der Herzkammern von den umgebenen blutdurchflossenen Organen ihre Aktivitätsverteilung gut erkennbar sein muß und ein einzelner Herzzyklus eine zu geringe Aktivitätsdichte besitzt, um eine Konturerkennung zu ermöglichen, werden phasengleich ca. 300 - 500 Herzzyklen zu einem repräsentativen Herzzyklus addiert (Abb. 3). Auf diese Weise wird das Verhältnis Bild zu Hintergrund (Target to Backkground ratio) erhöht. Da jeder Herzzyklus dabei in 20 ms-Intervalle unterteilt wird und die Bildmatrix aus 64 x 64 sogenannten "picture elements" (= pixels) besteht, benötigt eine derartige Datenaufbereitung ein leistungsfähiges Elektronenrechnersystem. Zur Markierung der Erythrozyten wurden dem Patienten 36,8 mg DTPA-SN(II)-Komplex i.v. injiziert und 30 Minuten später über einen in der Art. pulmonalis liegenden Swan-Ganz-Katheter 20 mCi ($\hat{=} 7,4 \cdot 10^{+8}$ Bq) Technetium 99m verabreicht.

Nach Gleichverteilung der so in vivo mit Technetium 99m markierten Erythrozyten wurden die Radionuklidventrikulogramme mit einer Anger-Gamma-Kamera bei einer Energieeinstellung von 140 KeV unter Verwendung eines general purpose Parallelochkolliators in 30°-LAO-Projektion registriert. Dabei wurde zur besseren Abtrennung des linken Vorhofs vom linken Ventrikel die Kamera 15° kaudalwärts geneigt. Die weitere Verarbeitung des Gamma-Kamera-Signals erfolgte mit einem Computersystem (PDP 11-34 der Firma DEC). Die Aktivitätsänderungen über dem Herzen wurden in zoom-mode registriert. Zur Ermittlung eines repräsentativen Herzzyklus wurden die Aufnahmen bei Patienten mit Sinusrhythmus mittels Gated-Synchronized-Acquisition-Technik und bei Patienten mit Vorhofflimmern mit der Gated-List-Mode-Technik durchgeführt. Bei der GSA-Technik wird vor dem Start der Aufnahme eine repräsentative Zykluslänge ermittelt, die unter Berücksichtigung eines Toleranzbereichs von 50 ms (Ruheaufnahmen) bzw. 80 ms (Belastungsaufnahmen) das Eingangskriterium zur Messung erlaub-

ter RR-Intervalle darstellt. Auf diese Art und Weise werden Extrasystolen eliminiert. Gated-List-Mode-Verfahren bedeutet, daß zunächst alle Herzzyklen erfaßt und auf einer Magnetplatte in einer Liste abgespeichert werden, um nach Beendigung der Messung und nach Erstellen einer Häufigkeitsverteilung der aufgetretenen RR-Intervalle retrospektiv eine Gruppierung eines repräsentativen Zyklus um die am häufigsten aufgetretene Zykluslänge vorzunehmen. Bei den durchgeführten Ruhestudien wurde die Aufnahmezeit so gewählt, daß insgesamt 10 Mio. Impulse registriert wurden und für Belastungsstudien eine Gesamtaufnahmedauer von 2 min (GSA-Technik) bzw. 3 min (Gated-List-Mode-Technik) vorgegeben, um konstante Belastungszeiten einhalten zu können. Um dennoch eine ausreichende Zählrate zu gewährleisten, wurde das Energiefester von 20% für die Ruhestudien auf 30% für die Belastungsstudien erhöht.

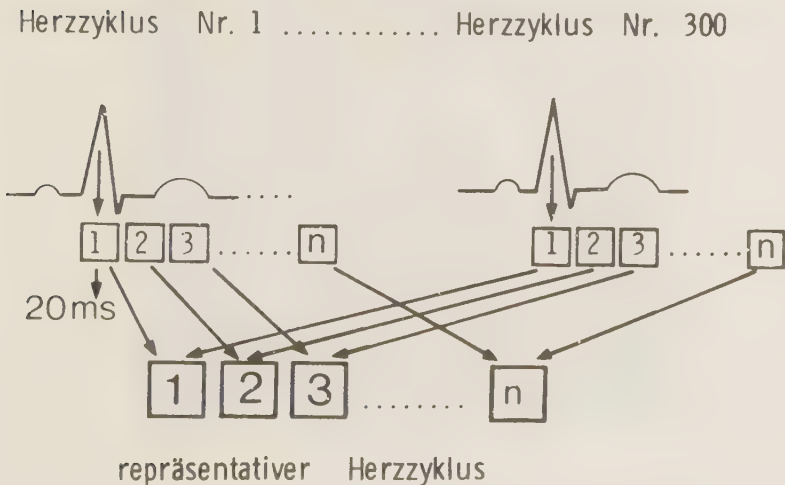


Abb. 3: Phasengleiche Zuordnung der Einzelbilder mit Hilfe des Elektrokardiogramms.

Zur Bestimmung der linksventrikulären Auswurffraktion wurde die sogenannte Dual-Region-of-Interest-Technik angewandt. Sie besteht darin, daß zur Berechnung der Auswurffraktion zwei Regions of Interest, nämlich die enddiastolische Ventrikelkontur und die endsystolische Ventrikelkontur, berücksichtigt werden. Zur Festlegung der enddiastolischen Fläche und endsystolischen Fläche wurde ein Film "generiert", in dem die Einzelbilder eines Herzzyklus fortlaufend wiederholt auf dem Monitor dargestellt wurden. Mit diesem Verfahren konnte die Enddiastole und Endsystole aufgrund der maximalen und minimalen Ventrikelausdehnung gut bestimmt und der jeweilige Ventrikelrand manuell eingezeichnet werden (Abb. 4).

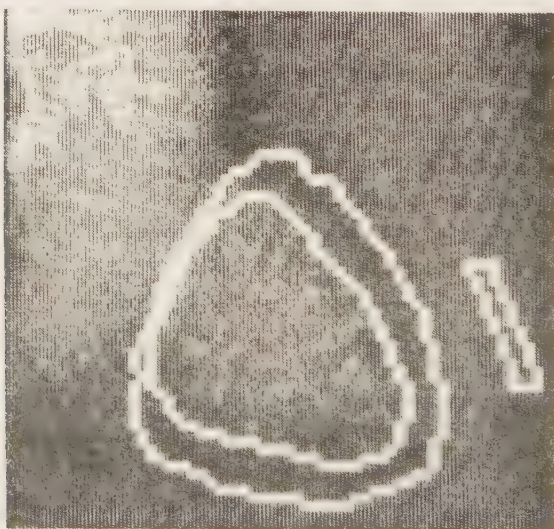


Abb. 4: Linksventrikuläres Radionuklidventrikulogramm mit Einzeichnung von Enddiastole, Endsystole und Untergrund-Region.

Zur Erfassung der Untergrundaktivität über dem linken Ventrikel wird ein Bezirk neben der enddiastolischen Ventrikelgrenze gewählt. Auf einen möglichst schwankungsfreien Verlauf der Untergrundzeitaktivitätskurve wurde geachtet, um die Miteinbeziehung von Myokard oder großen Gefäßen zu vermeiden. Durch Subtraktion der auf die jeweilige Fläche umgerechneten Untergrundzählrate von der enddiastolischen bzw. der endsystolischen Zählrate ergibt sich die linksventrikuläre Auswurffraktion nach der Formel:

$$EF = \frac{(ED - BG_1) - (ES - BG_2)}{ED - BG_1}$$

$$BG_1 = C_1 \cdot BG/px \quad BG_2 = C_2 \cdot BG/px$$

ED= enddiastolische linksventrikuläre Zählrate (über enddiastolischer linksventrikulärer Fläche gemessen).

ES= endsystolische linksventrikuläre Zählrate (über endsystolischer linksventrikulärer Fläche gemessen).

BG₁= enddiastolische Untergrundzählrate (über enddiastolischer linksventrikulärer Fläche gemessen).

BG₂= endsystolische Untergrundzählrate (über endsystolischer linksventrikulärer Fläche gemessen).

BG/px= mittlere Zählrate pro Bildelement in der Background-Region.

C₁= Anzahl der pixels in der enddiastolischen Region.

C₂= Anzahl der pixels in der endsystolischen Region.

Um die Zeitaktivitätskurve respektive Volumenkurve für den gesamten Herzzyklus zu bekommen, d.h. nicht nur Werte für die Enddiastole und Endsystole zu erhalten, wurden "wahre Volumenkurven" errechnet. Hierzu wurde die über der enddiastolischen Region of Interest ermittelte Aktivitätsverteilung während eines Herzzyklus aufgenommen und unter Verwendung des Fourier-Theorems geglättet. Die ursprüngliche Kurve wird durch die Summe der Cosinus- und Sinus-Glieder ihrer Grundfrequenz sowie ihrer Oberschwingungen beschrieben, wobei die Anzahl der Oberschwingungen auf

vier beschränkt wird. Damit erhält man eine Kurve, bei der insbesondere die Schwankungen infolge der radioaktiven Zerfallstatistik, die sich als Oszillationen um eine "geglättete" Volumenkurve manifestieren, eliminiert werden. Zur Korrektur der so erhaltenen Volumenkurven wird ein "wahrer Untergrund" (BG^*) berücksichtigt, der aus der mit der Dual-Region-of-Interest-Methode bestimmten Auswurffrac-tion nach der Formel

$$EF = \frac{(ED - BG^*) - (ES - BG^*)}{ED - BG^*} = \frac{ED - ES}{ED - BG^*}$$

$$BG^* = \frac{ED (EF - 1) + ES}{EF}$$

ermittelt wird.

Zur Bestimmung der maximalen Entleerungs- bzw. Füllungsrate wird die normierte zeitliche Ableitung der Zeitaktivitätskurve

$$W = \frac{\Delta C}{ED \cdot \Delta T}$$

während des repräsentativen relativen Herzzyklus gebildet.

W = Entleerungs- oder Füllungsrate.

C = Impulsratendifferenz jeweils zweier aufeinanderfolgender Einzelbilder.

T = 20 ms.

ED = Enddiastolische Impulsraten.

Der maximale Wert von W während der Diastole und von W während der Systole ergibt damit die maximale Entleerungs- bzw. Füllungsrate. Die Dimension dieser Größen beträgt sec^{-1} (Abb. 5).

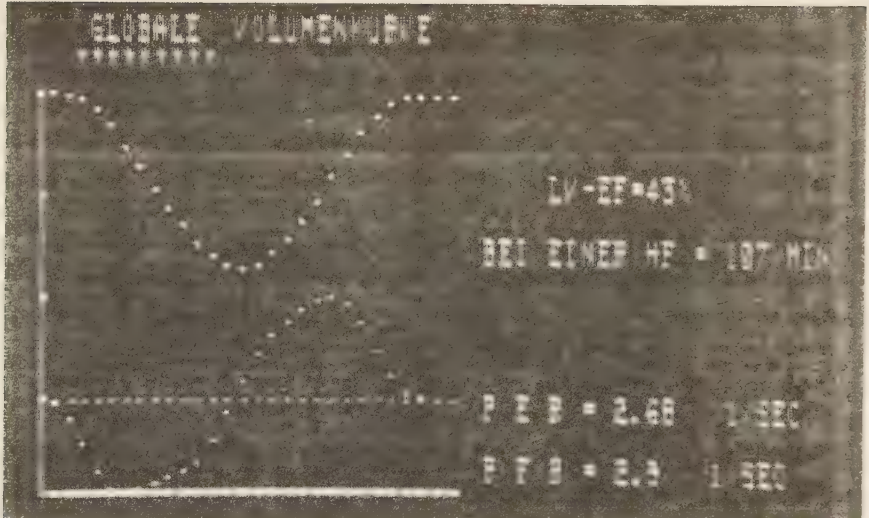


Abb. 5: Fourier-geglättete linksventrikuläre Volumenkure, die als Basis für die Bestimmung der linksventrikulären Auswurf-fraktion dient. Darunter die erste Ableitung, aus der die maximale Entleerungs- und Füllungsrate berechnet werden.

Entsprechend der globalen Auswurf-fraktion des linken Ventrikels wurden die regionalen Auswurf-fractionen ermittelt. Ausgehend vom automatisch bestimmten Mittelpunkt eines um die enddiastolische linksventrikuläre Region of Interest gelegten Rechtecks wurde der linke Ventrikel mittels eines senkrechten Achsenkreuzes in drei, einen posterolateralen, einen apikoinferioren und in einen anteroseptalen Sektor unter Ausschluß der Herzbasis unterteilt (Abb. 6).

In den drei Segmenten wurde die linksventrikuläre Auswurf-fraktion nach der bereits genannten Formel

$$EF = \frac{ED - ES}{ED - BG^*}$$

ermittelt, wobei ED und ES den maximal bzw. minimal gemessenen Zählraten entsprechen. Auf gleiche Weise kann die

"regionale Auswurffraktion zum Zeitpunkt der globalen Endsystole" errechnet werden, wobei als Zeitpunkt der regionalen Endsystole jener der globalen Endsystole genommen wird.

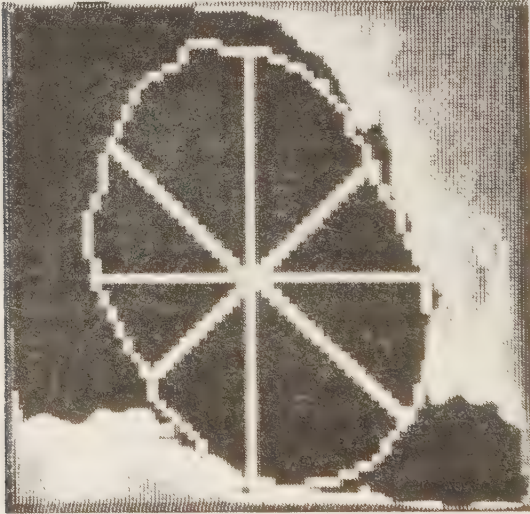


Abb. 6: Segmentale linksventrikuläre Auswurffraktion errechnet nach Unterteilung der enddiastolischen linksventrikulären Region of Interest in 3 radiär angeordnete Segmente: posterolateral, apikoinferior und anteroseptal.

Als normal wurde eine Auswurffraktion sowohl in Ruhe als auch unter Belastung über 55% gewertet.

Für die globale und die regionale Auswurffraktion wurden Änderungen erst dann berücksichtigt, wenn sie mehr als 5% betrugen. Änderungen der maximalen Entleerungs- und Füllungs-raten wurden ab $0,5 \text{ sec}^{-1}$ gewertet.

3.3.1. Reproduzierbarkeit der radionuklidventrikulogra- phisch bestimmten Auswurffractionen:

In einem Krankengut von 20 Patienten wurde zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit ein Radionuklidventrikulogramm erstellt, von zwei unabhängigen Untersuchern ausgewertet und die so erhaltenen Auswurffractionen, die im Bereich von 35 - 69% schwankten, zueinander in Beziehung gesetzt (Tab. 2). Dabei ergab sich folgende Regressionsgerade (Abb. 7):

$$EF_{U2} = 0,95 EF_{U1} + 3,05$$

Der Korrelationskoeffizient r betrug 0,92.

Da aufgrund des t -Tests die Testgröße

$$t_0 = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}}$$

mit $n = 20$ die Hypothese $r = 0$ gegen die Alternativhypothese $r > 0$ mit einem Signifikanzniveau von $p < 0,001$ verworfen werden muß, ist ein linearer Zusammenhang zwischen den Meßergebnissen der beiden Untersucher statistisch gesichert. Das 95%ige Konfidenzintervall beträgt:

$$0,81 \leq r \leq 0,97.$$

Dies bedeutet, daß der Korrelationskoeffizient mit 95%iger Wahrscheinlichkeit zwischen 0,81 und 0,97 liegt. Da das Konfidenzintervall den Wert $r = 0$ nicht enthält, zeigt sich auch nach dieser Methode ein linearer Zusammenhang zwischen den beiden Meßgrößen.

Es bestand eine gute Übereinstimmung der Mittelwerte mit $54,00 \pm 9,56\%$ bzw. $54,25 \pm 9,82\%$. Da sich der Regressionskoeffizient mit 0,95 von 1 und der Y-Achsenabschnitt mit 3,05 von 0 nur geringfügig unterscheiden, kann davon ausgegangen werden, daß die Meßergebnisse der beiden Untersucher grundsätzlich übereinstimmen. Die einfache Standardabweichung von der Regressionsgeraden, die 67% aller Meßwerte erfaßt, betrug $\pm 3,9\%$. Die maximale Y-Abweichung von der Winkelhalbierenden lag unter 9%.

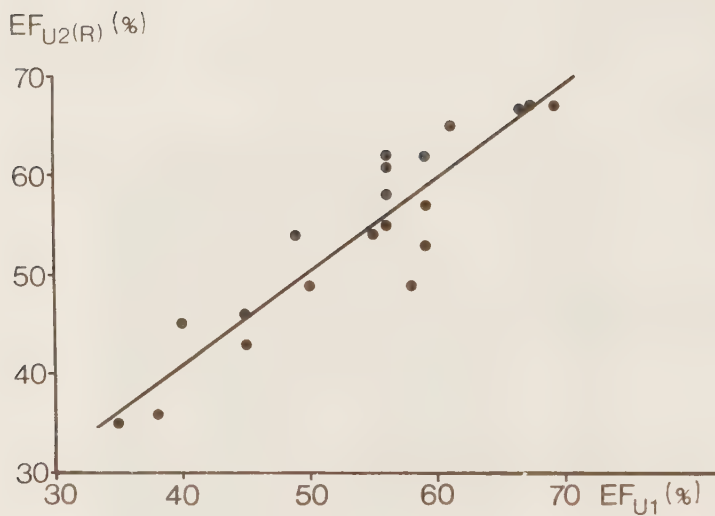


Abb. 7: Korrelation radionuklidventrikulographisch bestimmter Auswurf fraktion ermittelt von 2 unabhängigen Untersuchern an 20 Patienten.

EF% RNV (U_1)		EF% RNV (U_2 R)	
	55		54
	67		67
	38		36
	58		49
	35		35
	59		62
	40		45
	69		67
	67		67
	45		46
	49		54
	50		49
	56		58
	59		53
	59		57
	61		65
	56		61
	56		55
	56		62
	45		43
MW	54.0		54.3
+ 1SD	9.6		9.8

Tab. 2: Radionuklidventrikulographisch bestimmte Auswurf-
fraktion (EF%, RNV) ermittelt von 2 unabhängigen Unter-
suchern U_1 und $U_{2(R)}$ an 20 Patienten.

3.3.2. Evaluierung der radionuklidventrikulographisch bestimmten Auswurffraktion anhand der kontrastmittelventrikulographisch ermittelten Auswurffraktion:

Bei 40 Patienten wurden ein Kontrastmittel- und ein Radionuklidventrikulogramm erstellt und die ermittelten Auswurffraktionen miteinander verglichen (Tab. 3). Die Berechnung der Auswurffraktion aus dem Kontrastmittelventrikulogramm erfolgte nach Einzeichnung des Herzrandes zum Zeitpunkt der in Enddiastole und Endsystole in RAO 30° und LAO 60° aufgenommenen Linksventrikulogramme mittels Scheibenmethode nach Simpson's rule (Abb. 8).

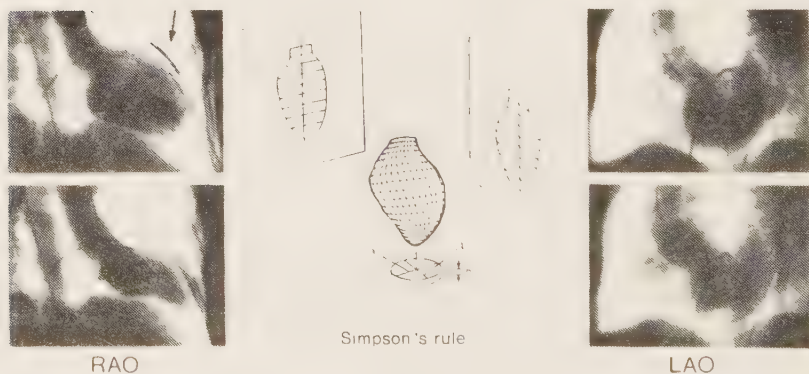


Abb. 8: Errechnung der Auswurffraktion aus dem Kontrastmittelventrikulogramm mittels Scheibenmethode nach Simpson's rule.

Wird eine lineare Regression zwischen den als Referenzwerten herangezogenen kontrastmittelventrikulographisch ermittelten Auswurffraktionen und den radionuklidventriku-

logarithisch bestimmten Auswurffraktionen durchgeführt, so zeigt sich im untersuchten Bereich mit Auswurffraktionen zwischen 15 - 89% eine gute, statistisch signifikante Korrelation.

Die Regressionsgerade lautet (Abb. 9):

$$EF_{RNV} = 0,77 \cdot EF_{KMV} + 11,47$$

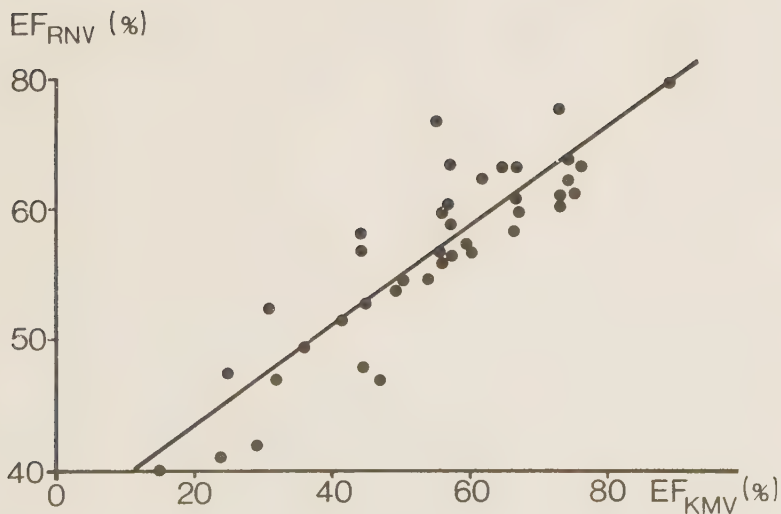


Abb. 9: Korrelation zwischen radionuklidventrikulographisch und kontrastmittelventrikulographisch bestimmter Auswurffraktion.

Der Korrelationskoeffizient r beträgt 0,89. Ein linearer Zusammenhang zwischen den beiden Meßmethoden ist mit einem Signifikanzniveau von $p < 0,001$ statistisch gesichert. Das zugehörige 95%ige Konfidenzintervall lautet:
 $0,79 \leq r \leq 0,94$.

Es zeigt sich eine gute Übereinstimmung in den Mittelwerten beider Methoden, wobei die kontrastmittelventrikulographisch bestimmten Auswurffractionen $54,53 \pm 16,4\%$ und die radionuklidventrikulographisch bestimmten Auswurffractionen $53,63 \pm 14,51\%$ betragen.

In dem ermittelten Regressionskoeffizienten von 0,77 und dem Y-Achsenabschnitt von 11,47% äußert sich eine durchschnittliche Überschätzung kleinerer Auswurffractionen und eine Unterschätzung höherer Auswurffractionen im Radionuklidventrikulogramm im Vergleich zur kontrastmittelventrikulographisch bestimmten Auswurffraction. Die mittlere Abweichung von der Regressionsgeraden beträgt dabei $\pm 6,8\%$.

EF% KMV		EF% RNV	
	56		52
	54		50
	44		54
	44		57
	24		22
	56		60
	67		60
	73		76
	74		65
	36		39
	73		61
	15		20
	29		24
	55		74
	57		67
	75		63
	32		34
	47		34
	89		80
	74		68
	60		54
	64		67
	44		36
	50		49
	25		35
	73		62
	31		45
	76		67
	66		67
	45		46
	55		54
	50		49
	57		58
	57		53
	66		57
	61		65
	56		61
	59		55
	66		62
	41		43
MW	54.4		53.6
+1SD	16.6		14.5

Tab. 3; Korrelation zwischen radionuklid- (RNV)
und kontrastmittelangiographisch (KMV)
bestimmter Auswurffrac- tion (EF) an
40 Patienten

3.4. Druckmessung in der Art. pulmonalis:

Die Druckschwankungen im Kreislauf werden über einen mit Flüssigkeit gefüllten Katheter auf einen extrakorporal befindlichen elektromechanischen Druckwandler übertragen (41) (Abb. 10). Die Aufgabe des Druckwandlers besteht darin, die resultierenden Oszillationen der Flüssigkeitssäule in elektrische Signale umzuwandeln. Hierbei erregen die Flüssigkeitsschwankungen eine Membran, die mit einem elektrischen Dehnungsmeßstreifen verbunden ist. Dieser Dehnungsmeßstreifen wirkt als elektrischer Widerstand in einer mit Gleichstrom betriebenen Wheatstone'schen Brückenschaltung. Die Querschnitts- und Längenänderungen des Dehnungsmeßstreifens bei Erregung der Membran bewirken Widerstands- bzw. Spannungsänderungen, die nach Verstärkung auf einem Oszillographen und auf einem EKG-Schreiber wiedergegeben werden.

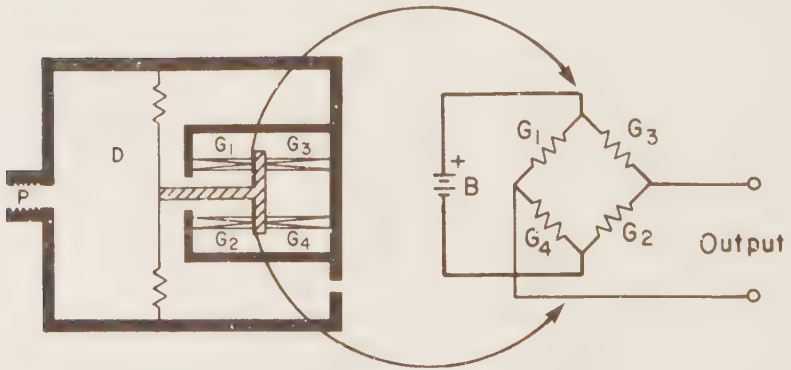


Abb. 10: Schematische Darstellung eines elektromechanischen Druckwandlers mit Wheatstone'scher Brückenschaltung und den Widerständen G_1 , G_2 , G_3 und G_4 .

Für die Meßgenauigkeit des Systems sind drei Größen entscheidend: Die Empfindlichkeit des Druckaufnehmers, das Frequenzverhalten und die Dämpfung des gesamten Meßsystems. Die Empfindlichkeit des Druckwandlers ist definiert als das Verhältnis der Amplitude des registrierten Signals zur Amplitude des Eingangssignals. Das Frequenzverhalten ist charakterisiert durch den Empfindlichkeitsverlauf über einem bestimmten Frequenzbereich. Es wird durch die Eigenschwingungen beeinflusst, in die das System bei Resonanz gerät. Durch Einfügen von mechanischen oder elektrischen Dämpfungsgliedern können die Eigenschwingungen so reduziert werden, daß mit einem konstanten Empfindlichkeitsverlauf über einem größeren Frequenzbereich gerechnet werden kann. Der Dämpfungskoeffizient ermittelt sich dabei aus dem Verhältnis der Amplituden X_1 und X_2 aufeinanderfolgender Schwingungen einer ausklingenden Welle nach Erregung des Systems mit einem stufenförmigen Druckimpuls nach der Formel

$$D = \sqrt{\ln^2 \left(\frac{x_2}{x_1} \right) \left(\pi^2 + \ln^2 \left(\frac{x_2}{x_1} \right) \right)}$$

Der Frequenzbereich, der benötigt wird, um physiologische Drucke unverfälscht zu übertragen, sollte zwischen 0 und 20 Hz liegen.

Zur Durchführung der Messung wurde ein System verwendet, welches aus einem dreilumigen Ballonkatheter mit Thermistor (Swan-Ganz-7 F), einem Druckwandler (Statham-P 23 Db), einem Gleichspannungsverstärker (Siemens E 2150) und einem 8-Kanal-EKG-Schreiber (Siemens Cardirex 6 T) bestand. Die Empfindlichkeit des Druckwandlers beträgt 50 $\mu\text{V/mmHg}$ bei 7,5 V Brückenspannung. Die Eigenschwingungsfrequenz liegt bei ca. 10 Hz; die Grenzfrequenz des Verstärkers beträgt 250 Hz.

Vor Inbetriebnahme erfolgt die Kalibrierung der Druckänderungen auf einer mmHg-Skala durch mechanisches Eichen mit Hilfe einer Quecksilbersäule.

Nach Punktion bzw. Freilegung einer oberflächlichen Armvene wird der Katheter ca. 45 cm vom rechten Arm bzw. 55 cm vom linken Arm aus, d.h. bis zum Erreichen der Junktion zwischen Vena cava und rechten Vorhof eingeführt, der Ballon aufgeblasen und der weitere Kathetervorschub in die Art. pulmonalis über den rechten Ventrikel mittels Durchleuchtung verfolgt. Nach Entlüften des Katheters, Einstellen der 0-Referenzhöhe 5 cm unterhalb der Sternummitte und Abgleich des Verstärkers auf Atmosphärendruck wurden systolischer, diastolischer und mittlerer Pulmonalarterien-
druck in Ruhe und während der sich anschließenden Ergometrie auf jeder Belastungsstufe kontinuierlich aufgezeichnet (Abb. 11). Der Mitteldruck wird durch einen elektronischen Integrator errechnet und kann am Schreiber direkt abgelesen werden.

Bei Auswertung der registrierten Druckkurven wurden die unter Belastung bei tiefer In- und Expiration auftretenden Schwankungen des systolischen und diastolischen Pulmonalarteriendrucks durch Mittelwertbildung über eine gleich große Anzahl, im Schnitt zehn Werte während Inspiration und Expiration, ausgeglichen. Zur Auswertung zogen wir die Ruhemessung bzw. die 5. Minute der Belastungsuntersuchung mit 50 Watt heran.

Bei Patienten unter 60 Jahren wurden die Normwerte der systolischen, diastolischen und mittleren Pulmonalarterien-
drucke ($PAP_{s/d/m}$) bezogen auf das jeweilige Herzminutenvolumen (CO) nach den von Ekelund und Holmgren angegebenen Regressionsgleichungen, in Ruhe und unter Belastung anhand der folgenden Formeln ermittelt (28):

$$PAP_s \text{ (mmHg)} = 13,15 + 1,05 \times CO \text{ (l/min)}$$

$$SD \text{ (mmHg)} = 5,19$$

$$PAP_d \text{ (mmHg)} = 7,90 + 0,231 \times CO \text{ (l/min)}$$

$$SD \text{ (mmHg)} = 3,37$$

$$PAP_m \text{ (mmHg)} = 10,02 + 0,621 \times CO \text{ (l/min)}$$

$$SD \text{ (mmHg)} = 3,88$$

Als oberste Normgrenze galt die doppelte Standardabweichung der so berechneten Druckwerte; Abweichungen wurden in mmHg angegeben.

Bei über 60-jährigen Patienten wurden die Normwerte nach den unten angegebenen Regressionsgleichungen ermittelt. Dabei wird der Pulmonalarteriendruck in Beziehung zur jeweiligen Sauerstoffaufnahme (V_{O_2}) gesetzt. Die der erbrachten Leistung (in Watt) entsprechende Sauerstoffaufnahme wurde Tabellen entnommen.

Ruhewerte in mmHg:

$$PAP_s = 22,22$$

$$SD = 6,4$$

$$PAP_d = 8,0$$

$$SD = 2,3$$

$$PAP_m = 15,1$$

$$SD = 4,1$$

Belastungswerte in mmHg:

$$PAP_s = 33,99 + 0,0021 V_{O_2}$$

$$SD = 10,55$$

$$PAP_d = 13,05 + 0,0019 V_{O_2}$$

$$SD = 4,32$$

$$PAP_m = 24,66 + 0,0008 V_{O_2}$$

$$SD = 6,79$$

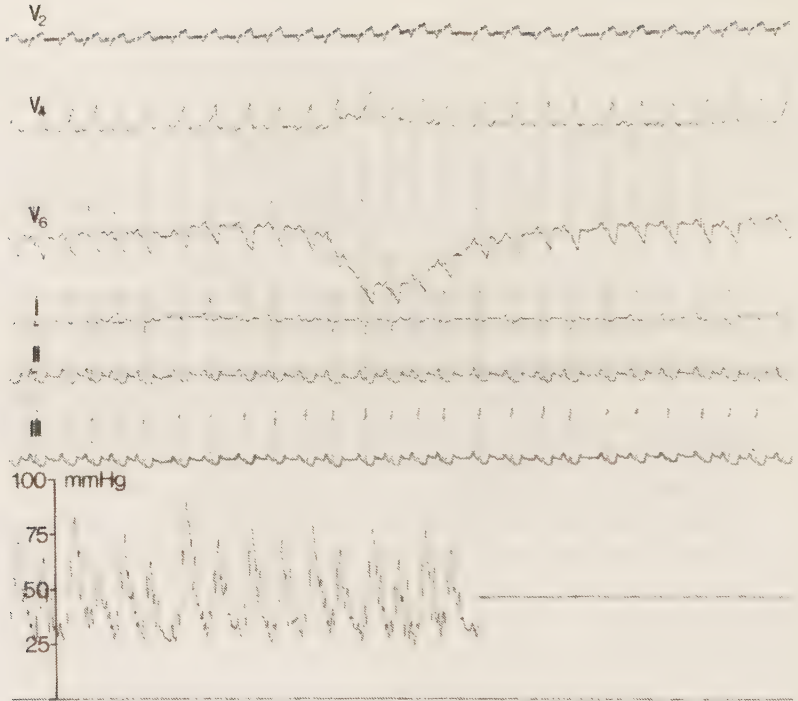


Abb. 11: Systolischer, diastolischer und mittlerer Pulmonararteriendruck sowie die gleichzeitig mitregistrierten EKG-Ableitungen V_2 , V_4 , V_6 , I, II und III.

3.5. Messung des Herzminutenvolumens:

Das Herzminutenvolumen wurde mit der Thermodilutionsmethode bestimmt (41). Die Methode stellt eine spezielle Anwendung des Indikatorverdünnungsprinzips dar. Ihr liegt folgende Modellvorstellung zugrunde.

Wird eine Indikatormenge in eine Mischkammer injiziert, die von einer Flüssigkeit mit konstantem Fluß durchströmt wird, und an der Ausflußstelle kontinuierlich der Konzentrationsverlauf mit der Zeit gemessen, so kann die Größe des Flusses bestimmt werden (Abb. 12). Der Fluß ist definiert als Flüssigkeitsvolumen V pro Zeiteinheit t

$$F = \frac{V}{t}$$

Wird mit c_m die über die Zeit gemittelte Konzentration des Indikators im Flüssigkeitsvolumen V und mit I die Indikatormenge (gemessen in g) bezeichnet, so besteht die Beziehung

$$c_m = \frac{I}{V}$$

$$V = \frac{I}{c_m}$$

Damit gilt für den Fluß:

$$F = \frac{I}{c_m \cdot t}$$

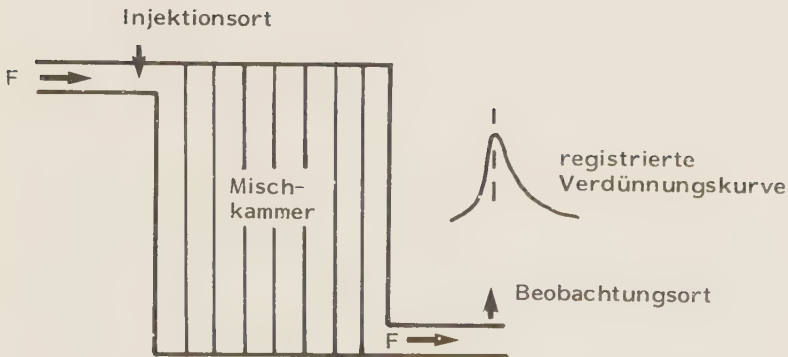


Abb. 12: Meßprinzip des Herzminutenvolumens mit Hilfe der Indikatorverdünnungsmethode.

Um den gesamten zeitlichen Verlauf der Konzentration $c(t)$ zu berücksichtigen, muß $c_m \cdot t$ durch $\int_0^{\infty} c(t) dt$ ersetzt werden.

Damit erhält man:

$$F = \frac{I}{\int_0^{\infty} c(t) dt}$$

Unter der Voraussetzung, daß sich der Indikator in der Mischkammer sofort homogen verteilt, wird an der Ausflußstelle die Konzentration rasch von 0 auf ihren maximalen Wert ansteigen, um dann infolge der Verdünnung durch die mit konstantem Fluß nachströmende Flüssigkeit langsam abzufallen. Es kann gezeigt werden, daß der Abfall in diesem Modell monoexponentiell erfolgt. Damit kann auch bei Messung des Konzentrationsverlaufs in einem relativ kurzen Zeitabschnitt eine Extrapolation bis zum Zeitpunkt vorgenommen werden, so daß das gesamte Integral zum Zeitpunkt der Injektion des Indikators bis zur völligen Auswaschung berechenbar ist.

Bei der Thermodilutionsmethode wird als Indikator eine Kältelösung injiziert, das bedeutet eine negative Wärmemenge I . Diese bewirkt eine Temperaturerniedrigung in der Mischkammer. Dabei gilt der Zusammenhang:

$$I = S_I \cdot M_I (T_M - T_I)$$

I = Wärmemenge, die vom Indikator abgegeben wird

S_I = spezifische Wärme des Indikators

M_I = Masse des Indikators

T_M = Mischtemperatur

T_I = Anfangstemperatur des Indikators

Die Masse M_I kann durch das Produkt $Q \cdot V_I$ ersetzt werden, wobei Q die Dichte und V_I das Volumen des Indikators bezeichnet:

$$I = S_I \cdot Q \cdot V_I \cdot (T_M - T_I)$$

Diese Wärmemenge wird im Mischgefäß auf die Flüssigkeit übertragen, wobei bei Annahme eines abgeschlossenen Systems die von der Flüssigkeit aufgenommene negative Wärme gleich der vom Indikator abgegebenen negativen Wärmemenge ist. Die aufgenommene negative Wärmemenge ist entsprechend:

$$I = S_B \cdot Q_B \cdot V_B \cdot (T_B - T_M)$$

S_B = spezifische Wärme der Flüssigkeit

Q_B = Dichte der Flüssigkeit

V_B = Volumen der Flüssigkeit

T_B = Anfangstemperatur der Flüssigkeit

T_M = Mischtemperatur

Nach der Indikatorverdünnungsmethode wird an der Ausflußstelle die Konzentrationsänderung gemessen. Die Konzentration beträgt in diesem Falle

$$\frac{I}{V_b} = S_B \cdot Q_B \cdot (T_B - T_M)$$

Da S_B und Q_B in der Gleichung für die aufgenommene Wärmemenge als konstant angenommen werden können, äußert sich eine Konzentrationsänderung in einer Temperaturänderung:

$\Delta(t) = T_B - T_M$, wobei $\Delta(t)$ die zum jeweiligen Zeitpunkt t gemessene Flüssigkeitstemperaturdifferenz darstellt.

Für den Fluß gilt damit entsprechend der obigen Gleichung:

$$F = \frac{S_I \cdot Q_I \cdot V_I (T_M - T_I)}{S_B \cdot Q_B \cdot V_B \cdot \int_0^{\infty} t(dt)}$$

Zur Herzzeitvolumenbestimmung wird eine Kältelösung in den Kreislauf injiziert und die Bluttemperatur distal der Injektionsstelle gemessen. Der Ausdruck

$$\frac{S_I \cdot Q_I}{S_B \cdot Q_B}$$

hat bei einem mittleren Hämatokrit den Wert 1,08. Bei Injektion geringer Indikatormengen sind die gemessenen Temperaturänderungen gering, so daß im Zähler des Bruches der obigen Gleichung anstelle der schwierig zu bestimmenden Mischtemperatur T_M die Anfangstemperatur T_B gesetzt werden kann. Kälteverluste während der Injektion können bei der Herzzeitvolumenberechnung mit einem von der verwendeten speziellen Injektionsmethode abhängigen, empirisch zu bestimmenden Korrekturfaktor C_T berücksichtigt werden. Damit lautet die endgültige Gleichung:

$$CO = \frac{1,08 \cdot V_I (T_{B_o} - T_I) \cdot C_T}{\int_0^{\infty} \Delta T(t) dt}$$

Zur Durchführung wurden im Bolus 10 ml einer in Eiswasser auf 0 - 4° C gekühlten physiologischen Kochsalzlösung in das proximale Lumen des liegenden Katheters und somit in den rechten Vorhof injiziert. Die Temperaturmessung des Injektats und des Blutes in der Pulmonalarterie vor Injektion sowie die Registrierung der Änderung der Bluttemperatur nach Injektion der Kältelösung wurden mit einem HZM-Automatic-Computer C 800 (Firma Franke) vorgenommen. Das Gerät ermittelt auch das Integral der Temperaturänderung über die Zeit. Die Integration wird vom Zeitpunkt der Injektion bis zum Abfall der Temperaturdifferenz auf 50% ihres Maximalwertes durchgeführt.

Das resultierende Herzminutenvolumen wird vom Gerät digital angezeigt.

Die Messung wurde grundsätzlich zweimal durchgeführt und der Mittelwert angegeben; bei Differenzen über 10% erfolgten eine Wiederholung der Messung und ihre Einbeziehung in die Mittelwertbildung. Unter Belastung wurde das Herzminutenvolumen am Ende der 4. Minute bestimmt (Abb. 13).



Abb. 13: Doppelbestimmung des Herzminutenvolumens mit Hilfe der Thermodilutionsmethode.

Die Sollwerte der Herzminutenvolumina (CO) wurden (wie die der Pulmonalarteriendrucke) entsprechend den von Ekelund und Holmgren angegebenen Regressionsgleichungen in Ruhe und unter Belastung anhand folgender Formeln errechnet (28):

$$\begin{aligned} \text{Patienten } < 60 \text{ Jahre: } CO \text{ (l/min)} &= 6,17 + 0,0063 \cdot V_{O_2} \\ SD \text{ (l/min)} &= 1,36 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Patienten } > 60 \text{ Jahre: } CO \text{ (l/min)} &= 4,11 + 0,0062 \cdot V_{O_2} \\ SD \text{ (l/min)} &= 1,01 \end{aligned}$$

$$V_{O_2} = \text{Sauerstoffaufnahme (Vol\%)}$$

Die den jeweiligen Leistungen (in Watt) entsprechende Sauerstoffaufnahme wurde den von Fox, Naughton und Huskell angegebenen Tabellen entnommen.

Als unterste Normgrenze galt die doppelte Standardabweichung des so berechneten Herzminutenvolumens; Abweichungen wurden als Absolutwerte (l/min) angegeben.

3.6. Bestimmung der Sauerstoffsättigung in der Art. pulmonalis

Die Sauerstoffsättigung des Blutes wird mit Hilfe der Reflexionsoxymetrie durch Messung der von einer Blutschicht reflektierten Lichtintensität bestimmt (41). Rotes Licht im Wellenlängenbereich von 600 bis 680 nm wird durch Oxyhämoglobin stark, durch reduziertes Hämoglobin nur schwach reflektiert. Der Logarithmus der reflektierten Lichtmenge stellt im physiologischen Bereich eine annähernd lineare Funktion der Sauerstoffsättigung dar.

Die Messung wurde mittels eines Hämoreflektors der Firma Kipp und Zonen durchgeführt. Das Gerät mißt mit einer Fotozelle und einem Galvanometer die Lichtmenge, die von einer mit Blut gefüllten Küvette bei Beleuchtung mit rotem Licht reflektiert wird. Zur Bestimmung der Sauerstoffsättigung einer heparinisierten venösen Mischblutprobe aus der Art. pulmonalis, bei Belastungsuntersuchungen in der 5. Minute entnommen, sind Messungen der reflektierten Lichtmenge des genommenen Mischblutes sowie zur Eichung der Apparatur die der Lichtmengen des Blutes bei 0% und bei 100%iger Sättigung nötig. Zur Erzeugung einer 0%igen Sättigung wird eine entsprechende Blutmenge mit einer Reduktionslösung versetzt; zur 100%igen Sättigung wird eine Blutprobe mit reinem Sauerstoff aufgesättigt. Da die Logarithmen der reflektierten Lichtmengen linear von der Sauerstoffsättigung abhängen, kann nach Auftragen der den Lichtmengen proportionalen Galvanometer-Ausschläge der drei Blutproben die Sauerstoffsättigung der Mischblutprobe abgelesen werden.

3.7. Bestimmung von Herzfrequenz und Blutdruck:

Die Herzfrequenz wurde zu den gleichen Zeitpunkten wie die übrigen Meßdaten, d.h. während der Belastungsuntersuchung, in der 5. Minute aus dem kontinuierlich mitregistrierten EKG entnommen.

Der Blutdruck wurde durch indirekte sphygmomanometrische Ermittlung der Korotkow-Geräuschphänomene gemessen. Das erste hörbare Geräusch markiert den systolischen Druck. Der diastolische Druck entspricht dem völligen Verschwinden der Gefäßgeräusche. Während Belastung erfolgte die Messung ebenfalls in der 5. Minute.

3.8. Ermittlung der New-York-Heart-Association-Klassifikation:

Patienten, bei denen die übliche und alltägliche körperliche Belastung keine unangemessene Symptomatik in Form von Ermüdbarkeit, Herzklopfen, Atemnot oder Angina pectoris hervorruft, wurden der Klasse I zugeordnet.

Patienten mit Beschwerden, insbesondere Atemnot bei üblicher täglicher körperlicher Belastung, wurden der Klasse II zugeordnet.

Patienten mit Beschwerden bereits bei geringerer als alltäglich üblicher Belastung wurden in Klasse III zusammengefaßt.

Patienten mit Beschwerden bei geringster körperlicher Belastung und in Ruhe wurden Klasse IV zugeteilt.

3.9. Statistische Auswertung:

Für die untersuchten Kollektive nahmen wir eine Gauß'sche Zufallsverteilung an. Die Einzelwerte der beiden Patientengruppen mit postoperativ normaler bzw. pathologischer Auswurfraction wurden für die Ruhe- und Belastungsuntersuchungen prä- und postoperativ durch ihre Mittelwerte und die einfache Standardabweichung repräsentiert. Die Unterschiede der Mittelwerte zwischen Ruhe- und Belastungsuntersuchungen bzw. zwischen prä- und postoperativen Ergebnissen

innerhalb einer Patientengruppe wurden mit Hilfe des paarigen t-Tests geprüft und die Mittelwerte zwischen den beiden Patientengruppen wurden mit dem nicht-paarigen t-Test verglichen. Unterschiede galten als signifikant, wenn die Irrtumswahrscheinlichkeit des Tests unter 0,05 lag.

Zur Ermittlung der Parameter, die bereits präoperativ eine Trennung der Patientengruppen und eine Vorhersagbarkeit des Operationsergebnisses zulassen, wurde eine lineare Diskriminanzanalyse durchgeführt. Hierzu wurde eine Diskriminanzfunktion als gewichtete Summe der Parameter, die sich nach dem nicht-paarigen t-Test als signifikant unterschiedlich zwischen den beiden Patientengruppen erwiesen, in der Form gebildet, daß die Funktionswerte der beiden Gruppen möglichst gut getrennt werden konnten. Als Maß für die Trennbarkeit wurden die Testgrößen Sensitivität, Spezifität und Treffsicherheit ermittelt. Als Sensitivität wird dabei der (richtig-positiv erkannte) Anteil der Patienten mit postoperativ pathologischer Auswurffraktion verstanden, der präoperativ eine pathologische Ventrikelfunktion (positiver Test) zeigt. Die Spezifität beschreibt den Anteil der Patienten mit postoperativ normaler Auswurffraktion, die richtig-negativ Patienten mit präoperativ normaler Ventrikelfunktion zugeordnet werden. Zur Kennzeichnung der gesamten korrekten Klassifikation wurde die Treffsicherheit als Verhältnis aller richtig-positiv und richtig-negativ erkannten Patienten zur Gesamtzahl der Patienten bestimmt. Um die Wahrscheinlichkeit des postoperativ zu erwartenden Ergebnisses bei Patienten mit präoperativ pathologischer bzw. normaler Ventrikelfunktion zu erkennen, wurde als predictive value bei positivem Test bzw. als predictive value bei negativem Test der Anteil der Patienten mit präoperativ pathologischer Ventrikelfunktion, die postoperativ pathologische Auswurffraktion zeigt, bzw. der Anteil der Patienten mit präoperativ normaler Ventrikelfunktion, der postoperativ normale Auswurffraktion zeigt, berechnet.

4. ERGEBNISSE

4.1. Präoperative Untersuchungen in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normalem Verhalten der Auswurffraktion

Die bei den individuellen Patienten erhobenen Daten sind in den Tabellen 6 und 7 zusammengestellt. Die Mittelwerte der untersuchten Parameter in Ruhe und unter Belastung sowie deren Vergleich sind aus den Tabellen 4 und 5 ersichtlich.

EF (%) (n=24)		EFpl (%) (n=22)		EFai (%) (n=22)		EFas (%) (n=22)		PER (1/s) (n=22)		PFR (1/s) (n=22)	
R	50W	R	50W	R	50W	R	50W	R	50W	R	50W
MW	59 54	70 64	68 61	61 54	4.55 5.05	3.69 6.15					
+1SD	8 9	8 11	11 12	9 12	1.65 2.11	2.53 3.60					
Sign. p<0.001		p<0.005		p<0.001		p<0.001		n.s.		p<0.005	

Tab. 4: Verhalten präoperativer mit Hilfe von Radionukliden ermittelter Parameter in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler Auswurffraktion.

Globale Auswurffraktion (EF), regionale Auswurffraktion im posterolateralen (EF_{pl}), apikoinferioren (EF_{ai}) sowie anteroseptalen (EF_{as}) Bereich, maximale Entleerungsrate (PER), maximale Füllungsrate (PFR), Patientenzahl (n), Ruhe (R), Belastung (50W), Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD).

4.1.1. Globale Auswurffraktion (n=24):

In Ruhe betrug die linksventrikuläre Auswurffraktion $59 \pm 8\%$, die unter Belastung auf $54 \pm 9\%$ abnahm ($p < 0,001$). Dabei zeigten 9/24 Patienten einen Abfall der Auswurffraktion um mehr als 5%, und 15/24 Patienten wiesen geringe Schwankungen der Auswurffraktion auf, d.h. innerhalb von 5%.

In Ruhe lagen 20/24 Patienten und unter Belastung 10/24 Patienten mit der globalen Auswurffraktion im Normbereich (Abb. 14).

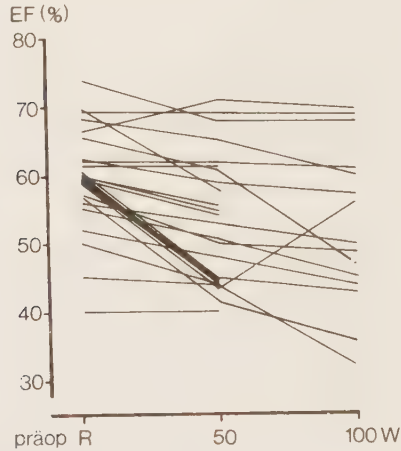


Abb. 14: Präoperative Auswurffraktion in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler Auswurf-
fraktion.

4.1.2. Regionale Auswurffraktion - posterolateraler Bereich (n=22):

Präoperativ betrug in Ruhe die posterolaterale Auswurf-
fraktion $70 \pm 8\%$, die unter Belastung auf $64 \pm 11\%$ abfiel
($p < 0,005$). 10/22 Patienten nahmen unter Belastung mit
dieser regionalen Auswurf-
fraktion um mehr als 5% ab; 10/22
Patienten wiesen geringe Schwankungen auf, d.h. in einem
Bereich von 5%, und lediglich bei 2/22 Patienten war ein
Anstieg über 5% zu beobachten. In Ruhe lagen 16/22 Patien-
ten und unter Belastung 9/22 Patienten mit der posterola-
teralen Auswurf-
fraktion im Normbereich (Abb. 15).

4.1.3. Regionale Auswurffraktion - apikoinferiorer Bereich (n=22):

Präoperativ betrug die apikoinferiore Auswurffraktion in Ruhe $68 \pm 11\%$. Unter Belastung nahm sie auf $61 \pm 12\%$ ab ($p < 0,001$). Dabei fiel bei 12/22 Patienten diese regionale Auswurffraktion um mehr als 5% ab; bei 8/22 Patienten fand sich ein weitgehend unverändertes Verhalten der apikoinferioren Auswurffraktion, d.h. in einem Bereich von 5%, und 2/22 Patienten erfuhren einen Anstieg über 5%. 10/22 Patienten wiesen in Ruhe und 6/22 Patienten unter Belastung normale Werte für diese regionale Auswurffraktion auf (Abb. 15).

4.1.4. Regionale Auswurffraktion - anteroseptaler Bereich (n=22):

In Ruhe ergab sich präoperativ ein Wert für die anteroseptale Auswurffraktion von $61 \pm 9\%$. Unter Belastung nahm diese auf $54 \pm 12\%$ ab ($p < 0,001$). Bei 12/22 Patienten fiel sie unter Belastung um mehr als 5% ab; 9/22 Patienten lagen im Bereich von 5% und lediglich 1/22 Patienten zeigte eine Zunahme um mehr als 5%. In Ruhe wiesen 20/22 Patienten und unter Belastung 14/22 Patienten normale Werte für die anteroseptale Auswurffraktion auf (Abb. 15).

4.1.5. Maximale Entleerungsrate (n=22):

In Ruhe ergab sich eine maximale Entleerungsrate von $4,55 \pm 1,65 \text{ sec}^{-1}$, die unter Belastung mit $5,05 \pm 2,11 \text{ sec}^{-1}$ keine wesentliche Veränderung erfuhr (n.s.). Bei Betrachtung der Einzelwerte zeigten unter Belastung 5/22 Patienten nur geringe Veränderungen der maximalen Entleerungsrate, d.h. in einem Bereich von $0,5 \text{ sec}^{-1}$; weitere 5/22 Patienten waren um mehr als $0,5 \text{ sec}^{-1}$ abgefallen, und 12/22 Patienten zeigten eine Zunahme über $0,5 \text{ sec}^{-1}$ (Abb. 16).

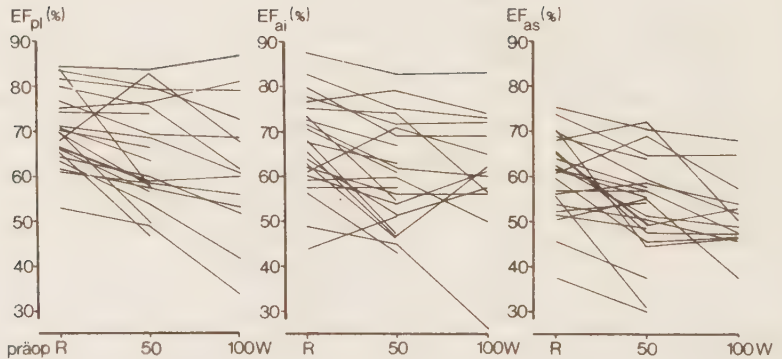


Abb. 15: Präoperative regionale Auswurffraktionen in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler Auswurffraktion.

4.1.6. Maximale Füllungsrate (n=22):

In Ruhe betrug die maximale Füllungsrate $3,69 \pm 2,53 \text{ sec}^{-1}$, die unter Belastung einen Anstieg auf $6,15 \pm 3,60 \text{ sec}^{-1}$ aufwies ($p < 0,005$). Dabei erfuhren 19/22 Patienten eine Zunahme um $0,5 \text{ sec}^{-1}$, während lediglich 3/22 Patienten nur geringe Schwankungen zeigten, d.h. in einem Bereich von $0,5 \text{ sec}^{-1}$ (Abb. 16).

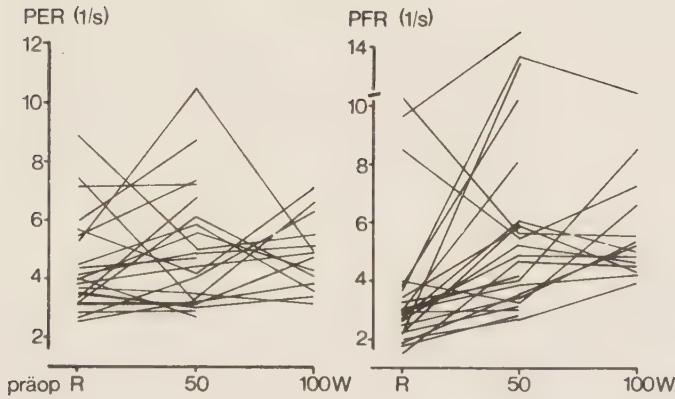


Abb. 16: Präoperative maximale Entleerungs- und Füllungsrate in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler Auswurffrac-tion.

PAP (mmHg) (n=24)			Co (l/min) (n=24)		O ₂ Sat (%) (n=21)		HR (S/min) (n=24)		RR (mmHg) (n=24)					
R		50W	R		50W		R		50W		R		50W	
s/d/m		s/d/m									s/d		s/d	
MW	26/10/17	51/20/33	6.0	11.0	67	50	77	111	150/64	187/79				
+ 1 SD	10/4/7	17/7/10	1.6	2.1	5	7	11	16	24/12	23/18				

Tab. 5: Verhalten präoperativer hämodynamisch-klinischer Parameter in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler Auswurffrac-tion.

Pulmonalarteriendruck (PAP), Herzminutenvolumen (Co), Sauerstoffsättigung (O₂Sat), Herzfrequenz (HR), Blutdruck (RR), Patientenzahl (n), Ruhe (R), Belastung (50W), systolisch (s), diastolisch (d), mittel (m), Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD).

4.1.7. Pulmonalarteriendruck (n=24):

In Ruhe betrug der Pulmonalarteriendruck systolisch 26 ± 10 mmHg, diastolisch 10 ± 4 mmHg und im Mittel 17 ± 7 mmHg. Unter Belastung stieg dieser systolisch auf 51 ± 17 mmHg, diastolisch auf 20 ± 7 mmHg und im Mittel auf 33 ± 10 mmHg an. In Ruhe wiesen 18/24 Patienten und unter Belastung 12/24 Patienten normale Werte für den mittleren Pulmonalarteriendruck auf (Abb. 17).

4.1.8. Herzminutenvolumen (n=24):

In Ruhe fand sich ein Herzminutenvolumen von $6,0 \pm 1,6$ l/min, welches unter Belastung auf $11,0 \pm 2,1$ l/min anstieg. In Ruhe wiesen 23/24 Patienten ein normales Herzminutenvolumen auf und ebenso zeigten 23/24 Patienten einen adäquaten Anstieg des Herzminutenvolumens unter Belastung (Abb. 17).

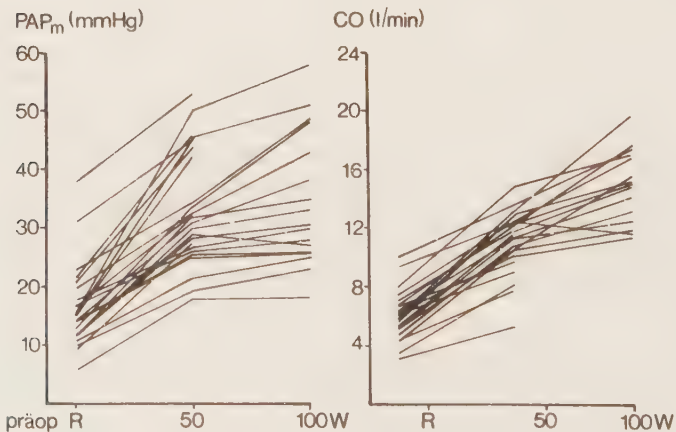


Abb. 17: Mittlerer Pulmonalarteriendruck und Herzminutenvolumen präoperativ in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler Auswurffrac-tion.

4.1.9. Sauerstoffsättigung in der Art. pulmonalis (n=21):

In Ruhe fand sich ein Wert von $67 \pm 5\%$, der unter Belastung auf $50 \pm 7\%$ abnahm. In Ruhe zeigten 19/21 Patienten eine Sauerstoffsättigung über 60%; unter Belastung wiesen 19/21 Patienten eine Sauerstoffsättigung über 40% auf (Abb. 18).

4.1.10. Herzfrequenz (n=24):

In Ruhe betrug die Herzfrequenz 77 ± 11 S/min mit einem Anstieg unter Belastung auf 111 ± 16 S/min. Dabei lagen 23/24 Patienten in Ruhe mit der Herzfrequenz im Normbereich, d.h. zwischen 60 und 100 S/min; 18/24 Patienten wiesen unter Belastung eine Herzfrequenz unter 120 S/min auf (Abb. 18).

4.1.11. Blutdruck (n=24):

In Ruhe ergab sich ein Blutdruck systolisch von 150 ± 24 mmHg und diastolisch von 64 ± 12 mmHg. Unter Belastung stieg der systolische Blutdruck auf 187 ± 23 mmHg und diastolisch auf 79 ± 19 mmHg an. Dabei lag in Ruhe bei 9/24 Patienten der systolische Blutdruck unter 140 mmHg und bei 10/24 Patienten der diastolische Blutdruck zwischen 70 und 90 mmHg. Unter Belastung fanden sich 11/24 Patienten mit einem systolischen Blutdruck unter 190 mmHg und 17/24 Patienten hatten einen diastolischen Wert zwischen 70 und 90 mmHg (Abb. 18).

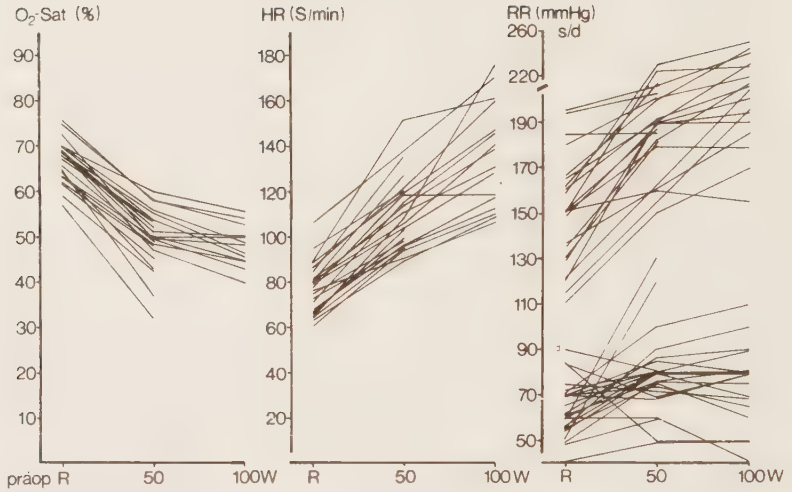


Abb. 18: Sauerstoffsättigung, Herzfrequenz, systolischer und diastolischer Blutdruck präoperativ in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler Auswurffrac-tion.

Pat.	EF (%)		EF _{pl} (%)		EF _{ai} (%)		EF _{as} (%)		PER (1/s)		PFR (1/s)	
	R	50W	R	50W	R	50W	R	50W	R	50W	R	50W
JB	40	40	61	58	44	51	38	30	4.00	2.74	3.30	4.04
HB	50	44	62	57	57	43	46	38	5.48	7.40	2.98	8.12
FE	62	62	68	83	61	71	61	69	8.85	4.95	10.60	5.69
OH	66	71	91	-	80	-	51	-	4.67	-	2.4	-
JK	52	48	64	60	62	56	54	51	3.86	3.54	3.08	3.94
HK	56	53	67	58	72	62	61	57	2.70	4.14	1.85	3.55
AL	60	46	66	47	63	46	64	57	3.60	3.07	2.31	3.64
WM	55	51	65	57	59	60	65	50	7.41	3.13	8.55	5.73
JM	68	65	84	80	88	83	68	72	5.77	4.20	4.03	3.10
FM	66	61	80	76	75	74	60	46	3.88	4.43	2.83	6.11
TP	59	46	84	58	69	47	56	31	6.02	8.84	3.87	10.53
PS	59	54	71	69	72	67	52	49	2.84	2.98	1.87	2.81
AS	45	44	53	49	49	45	51	55	2.63	3.18	2.88	4.02
US	69	58	77	69	83	80	76	72	5.44	10.66	3.92	13.37
AW	60	43	71	49	73	55	69	64	3.53	6.79	2.28	13.02
XW	61	62	74	-	57	-	57	-	3.22	-	2.89	-
KY	62	59	75	76	78	72	62	52	3.52	3.06	2.03	2.87
JF	57	50	71	67	61	55	56	58	3.26	3.30	2.36	3.24
HHa	74	68	82	80	80	69	74	65	4.12	4.99	2.81	4.81
HHe	59	54	71	64	68	63	61	55	4.30	4.80	3.50	5.70
AM	57	42	64	54	64	51	65	48	3.96	5.56	1.49	4.75
HS	69	69	75	83	77	79	70	59	3.26	6.11	2.60	5.28
WP	59	46	67	59	66	47	70	45	4.44	5.89	2.27	6.07
MA	59	55	68	58	71	62	52	56	7.20	7.36	9.74	14.97

Tab. 6: Globale Auswurf fraktion (EF), regionale Auswurf fraktion im posterolateralen (EF_{pl}), apikoinferioren (EF_{ai}) sowie antero-septalen (EF_{as}) Bereich, maximale Entleerungs- (PER) und maximale Füllungsrate (PFR) präoperativ in Ruhe (R) und unter Belastung (50W) der einzelnen Patienten mit post-operativ normaler Auswurf fraktion.

Pat.	PAP (mmHg)						Co (l/min)		O ₂ Sat.(%)		HR(S/min)		RR (mmHg)				NYHA
	R			50W			R	50W	R	50W	R	50W	R	50W			
	s/	d	/m	s/	d	/m											
JB	61	18	38	87	30	53	6.7	9.7	73	49	95	120	135/60	180/80	III		
HB	21	7	16	76	31	50	6.3	11.1	67	54	66	102	150/70	230/85	IV		
FE	26	12	17	37	19	27	10.1	13.5	75	60	107	137	195/85	210/50	I		
OH	22	9	16	26	9	18	4.8	10.8	62	49	65	94	110/40	150/50	II		
JK	22	6	14	36	13	25	5.8	12.5	69	52	81	105	165/55	190/75	I		
HK	22	5	14	45	18	31	6.4	11.4	63	49	75	95	115/60	155/85	II		
AL	43	20	31	57	33	45	6.2	8.9	64	43	80	127	185/90	185/80	III		
WM	19	7	14	48	23	34	6.6	12.4	63	50	80	110	160/60	190/75	I		
JM	19	7	14	33	11	25	7.2	12.1	68	56	76	90	180/55	200/80	III		
FM	25	13	20	50	18	33	5.1	10.7	70	54	71	115	165/70	200/80	II-III		
TP	20	10	15	61	24	42	3.0	5.2	57	32	84	135	160/60	210/130	III		
PS	39	14	22	80	25	44	4.3	7.7	65	37	73	98	195/50	205/120	I		
AS	27	13	22	64	25	46	5.5	10.1	-	-	87	120	130/60	180/60	II-III		
US	23	6	13	40	16	28	8.0	14.9	76	58	89	151	150/50	190/75	II		
AW	17	5	10	48	18	27	3.6	8.0	63	45	60	95	160/75	220/70	II		
XW	38	13	22	78	25	45	5.9	11.9	59	43	66	99	125/50	150/60	II		
KY	24	6	11	32	11	22	5.2	11.1	69	60	62	90	150/55	160/90	III		
JF	22	11	18	36	10	26	7.1	12.2	70	55	79	114	150/85	180/70	I		
HHa	27	15	23	50	25	34	9.2	12.0	69	50	77	118	130/70	190/80	II-III		
HHe	26	10	17	52	20	33	6.0	11.0	-	-	79	112	150/65	185/80	II-III		
AM	22	7	12	51	18	32	4.2	10.3	69	47	64	107	120/55	190/80	II		
HS	22	5	11	32	10	19	4.9	11.2	-	-	67	95	120/70	160/75	II		
WP	17	7	12	50	18	30	5.8	13.0	70	52	87	118	160/70	225/100	I		
MA	18	7	12	47	18	28	5.4	12.6	65	51	78	104	135/75	160/70	I		

Tab. 7: Pulmonalarteriendruck (PAP) systolisch (s), diastolisch (d), mittel (m), Herzminutenvolumen (CO), Sauerstoffsättigung (O₂ Sat.), Herzfrequenz (HF), Blutdruck (RR) systolisch (s) und diastolisch (d) präoperativ in Ruhe (R) und unter Belastung (50W) sowie New-York-Heart-Association-Klassifikation (NYHA) der einzelnen Patienten mit postoperativ normaler Auswurffrac-tion.

4.2. Postoperative Untersuchungen in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normalem Verhalten der Auswurffrac-tion

Die bei den individuellen Patienten erhobenen Daten sind in den Tabellen 10 und 11 zusammengestellt. Die Mittelwerte der untersuchten Parameter in Ruhe und unter Belastung sowie deren Vergleich sind aus den Tabellen 8 und 9 ersicht-lich.

EF (%) (n=23)		EFpl (%) (n=22)		EFai (%) (n=22)		EFas (%) (n=22)		PER (n=22)		PFR (n=22)	
R	50W	R	50W	R	50W	R	50W	R	50W	R	50W
MW	68 67	83 79	84 85	62 64	4,33 5,85	3,31 6,98					
+1SD	7 7	7 11	8 9	13 12	0,84 2,18	1,32 4,00					
Sign.	n.s.	p<0.01	n.s.	n.s.	p<0,005	p<0.001					

Tab. 8: Verhalten postoperativer, mit Hilfe von Radionukli-
den ermittelter Parameter in Ruhe und unter Belastung bei
Patienten mit postoperativ normaler Auswurffrac-tion.
Globale Auswurffrac-tion (EF), regionale Auswurffrac-tion im
posterolateralen (EF_{pl}), apikoinferioren (EF_{ai}) sowie
anteroseptalen (EF_{as}) Bereich, maximale Entleerungsrate
(PER), maximale Füllungsrate (PFR), Patientenzahl (n), Ruhe
(R), Belastung (50W), Mittelwert (MW), Standardabweichung
(SD).

4.2.1. Globale Auswurffrac-tion (n=23):

In Ruhe ergab sich eine Auswurffrac-tion von $68 \pm 7\%$, die
unter Belastung mit $67 \pm 7\%$ keine Änderung ergab (n.s.).
18/23 Patienten wiesen unter Belastung nur geringe Schwan-
kungen der Auswurffrac-tion auf, d.h. in einem Bereich von
5%. Lediglich bei 4/23 Patienten nahm die Auswurffrac-tion
mehr als 5% ab und 1/23 Patienten erfuhr eine Zunahme der
Auswurffrac-tion um mehr als 5%.

Entsprechend dem Einteilungsprinzip lagen alle Patienten sowohl in Ruhe als auch unter Belastung mit ihrer Auswurf-
fraktion über 55% (Abb. 19).

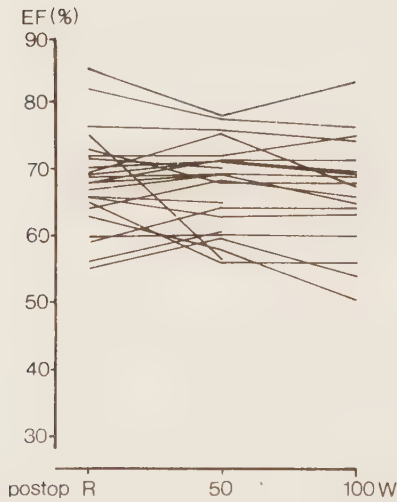


Abb. 19: Postoperative Auswurf-
fraktion in Ruhe und unter
Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler Auswurf-
fraktion.

4.2.2. Regionale Auswurffrac tion - posterolateraler Bereich (n=22):

In Ruhe betrug die posterolaterale Auswurffrac tion $83 \pm 7\%$ und nahm unter Belastung auf $79 \pm 11\%$ ab ($p < 0,01$). 8/22 Patienten fielen mit der posterolateralen Auswurffrac tion um mehr als 5% ab, 13/22 Patienten wiesen geringe Schwan kungen auf, d.h. in einem Bereich von 5%, und lediglich 5/22 Patienten zeigten einen Anstieg über 5%. Alle Patien ten lagen in Ruhe mit Werten über 66% im Normbereich, und unter Belastung wiesen 19/22 Patienten Werte über 66% auf (Abb. 20).

4.2.3. Regionale Auswurffrac tion - apikoinferiorer Bereich (n=22):

In Ruhe betrug die apikoinferiore Auswurffrac tion $84 \pm 8\%$, die sich unter Belastung mit $85 \pm 9\%$ nicht veränderte (n.s.). 15/22 Patienten zeigten nur geringe Schwan kungen in einem Bereich von 5%; lediglich 3/22 Patienten zeigten einen Abfall über 5% und 4/22 Patienten einen Anstieg über 5%. Jeweils 21/22 Patienten lagen sowohl in Ruhe als auch unter Belastung mit der apikoinferioren Auswurffrac tion über 70% (Abb. 20).

4.2.4. Regionale Auswurffrac tion - anteroseptaler Bereich (n=22):

Die anteroseptale Auswurffrac tion betrug in Ruhe $62 \pm 13\%$, die unter Belastung mit $64 \pm 12\%$ keine Veränderung erfuhr (n.s.). 9/22 Patienten zeigten ein weitgehend konstantes Verhalten der anteroseptalen Auswurffrac tion mit Schwan kungen im Bereich von 5%; 8/22 Patienten wiesen einen An stieg über 5% und 5/22 Patienten einen Abfall über 5% auf. In Ruhe lagen 17/22 Patienten und bei Belastung 19/22 Pa tienten mit der anteroseptalen Auswurffrac tion über 50% (Abb. 20).

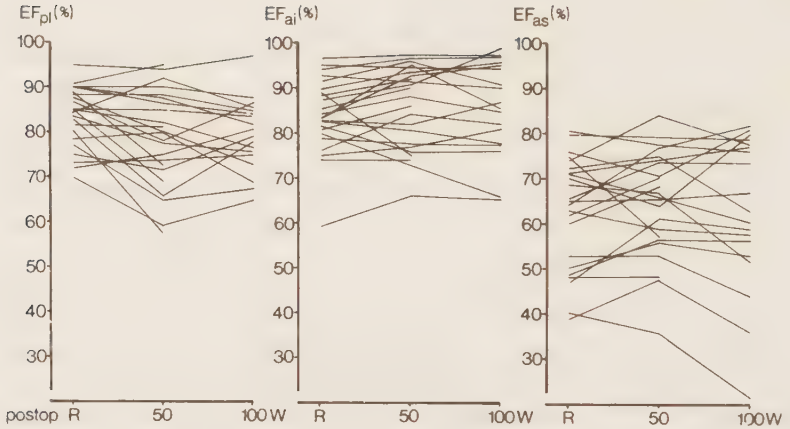


Abb. 20: Postoperative regionale Auswurffrac tion in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler Auswurffrac tion.

4.2.5. Maximale Entleerungsrate (n=22):

In Ruhe betrug die maximale Entleerungsrate $4,33 \pm 0,84 \text{ sec}^{-1}$, welche unter Belastung auf $5,85 \pm 2,18 \text{ sec}^{-1}$ zunahm ($p < 0,005$). 15/22 Patienten zeigten eine Zunahme um mehr als $0,5 \text{ sec}^{-1}$, 3/22 Patienten wiesen keine wesentlichen Veränderungen auf, d.h. in einem Bereich von $0,5 \text{ sec}^{-1}$, und 4/22 Patienten waren mit der maximalen Entleerungsrate um mehr als $0,5 \text{ sec}^{-1}$ abgefallen (Abb. 21).

4.2.6. Maximale Füllungsrate (n=22):

In Ruhe ergab sich ein Wert für die maximale Füllungsrate von $3,31 \pm 1,32 \text{ sec}^{-1}$ mit einer Zunahme unter Belastung auf $6,98 \pm 3,96 \text{ sec}^{-1}$ ($p < 0,001$). Dabei zeigten 20/22 Patienten einen Anstieg der maximalen Füllungsrate um mehr als $0,5 \text{ sec}^{-1}$, während lediglich 2/22 Patienten nur geringe Schwankungen aufwiesen, d.h. in einem Bereich von $0,5 \text{ sec}^{-1}$ (Abb. 21).

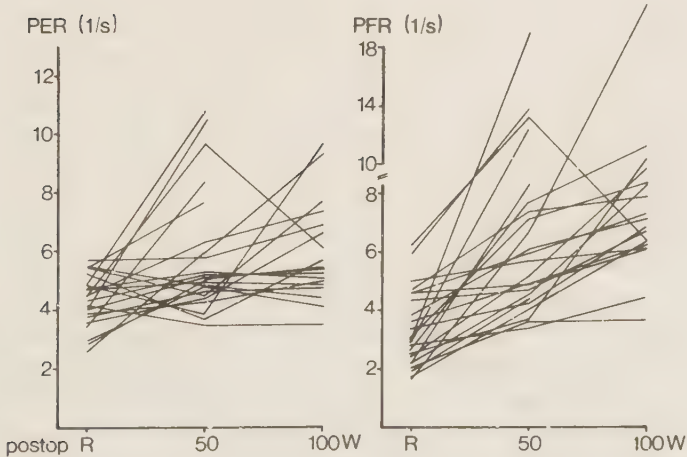


Abb. 21: Maximale Entleerungs- und Füllungsrate postoperativ in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler Auswurffrac tion.

	PAP (mmHg) (n=22)		Co (l/min) (n=22)		O ₂ Sat (%) (n=20)		HR (S/min) (n=23)		RR (mmHg) (n=23)	
	R s/d/m	50W s/d/m	R	50W	R	50W	R	50W	R s/d	50W s/d
MW	21/5/12	42/12/26	6.2	11.5	70	50	72	107	135/84	160/94
+1SD	6/3/3	11/5/6	1.8	2.2	4	7	14	16	16/13	21/13

Tab. 9: Verhalten postoperativer, hämodynamisch-klinischer Parameter in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler Auswurffrac tion.

Pulmonalarteriendruck (PAP), Herzminutenvolumen (Co), Sauerstoffsättigung (O₂Sat), Herzfrequenz (HR), Blutdruck (RR), Patientenzahl (n), Ruhe (R), Belastung (50W), systolisch (s), diastolisch (d), mittel (m), Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD).

4.2.7. Pulmonalarteriendruck (n=22):

In Ruhe betrug der Pulmonalarteriendruck systolisch 21 ± 6 mmHg, diastolisch 5 ± 3 mmHg und im Mittel 12 ± 3 mmHg. Unter Belastung lag dieser systolisch bei 42 ± 11 mmHg, diastolisch bei 13 ± 5 mmHg und im Mittel bei 26 ± 6 mmHg. In Ruhe wiesen alle Patienten und unter Belastung 21/22 Patienten im Normbereich liegende Werte für den mittleren Pulmonalarteriendruck auf (Abb. 22).

4.2.8. Herzminutenvolumen (n=22):

In Ruhe betrug das Herzminutenvolumen $6,1 \pm 1,8$ l/min mit einer Zunahme unter Belastung auf $11,5 \pm 2,2$ l/min. In Ruhe fanden sich alle Patienten mit dem Herzminutenvolumen im Normbereich, und unter Belastung waren 21/22 Patienten mit dem Herzminutenvolumen adäquat angestiegen (Abb. 22).

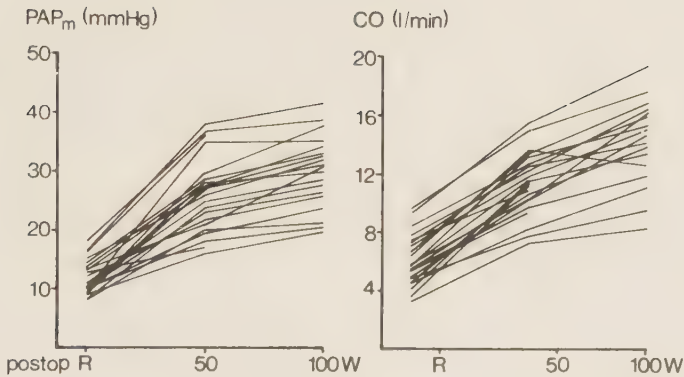


Abb. 22: Mittlerer Pulmonalarteriendruck und Herzminutenvolumen postoperativ in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler Auswurffrac-tion.

4.2.9. Sauerstoffsättigung in der Art. pulmonalis (n=20)

In Ruhe betrug die Sauerstoffsättigung $70 \pm 4\%$, die unter Belastung auf $50 \pm 7\%$ abnahm. In Ruhe wiesen alle Patienten einen Wert über 60% auf, unter Belastung lagen 18/22 Patienten mit der Sauerstoffsättigung über 40% (Abb. 23).

4.2.10. Herzfrequenz (n=23):

In Ruhe ergab sich eine Herzfrequenz von 72 ± 14 S/min mit einer Zunahme auf 107 ± 16 S/min unter Belastung. In Ruhe fand sich bei 19/23 Patienten eine Herzfrequenz zwischen 60 und 100 S/min, und unter Belastung lagen 19/23 Patienten mit der Herzfrequenz unter 120 S/min (Abb. 23).

4.2.11. Blutdruck (n=23):

In Ruhe betrug der Blutdruck systolisch 135 ± 16 mmHg und diastolisch 84 ± 13 mmHg. Unter Belastung fand sich ein Blutdruck systolisch von 160 ± 21 mmHg und diastolisch von 94 ± 13 mmHg. In Ruhe wiesen 11/23 Patienten systolisch einen Blutdruck unter 140 mmHg auf, und diastolisch hatten 14/23 Patienten einen Blutdruck zwischen 70 und 90 mmHg. Unter Belastung wiesen 20/23 Patienten einen Blutdruck systolisch unter 190 mmHg auf und 13/23 Patienten lagen mit dem diastolischen Blutdruck zwischen 70 und 90 mmHg (Abb. 23).

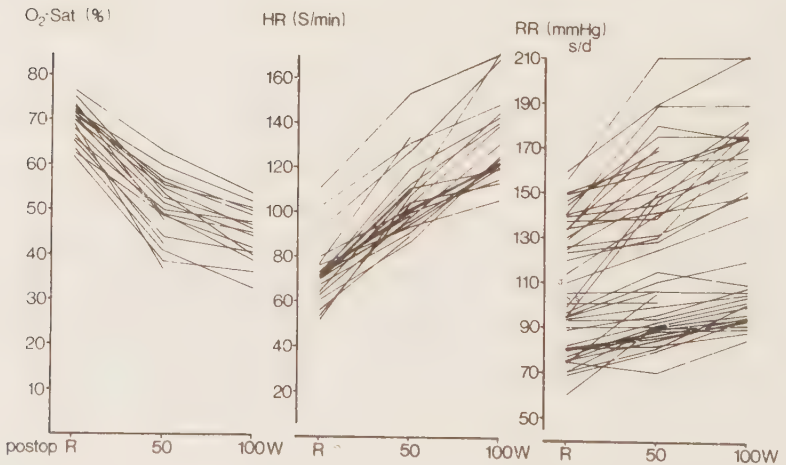


Abb. 23: Sauerstoffsättigung, Herzfrequenz, systolischer und diastolischer Blutdruck postoperativ in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler Auswurf-fraktion.

Pat.	EF (%)		EF _{pl} (%)		EF _{ai} (%)		EF _{as} (%)		PER (1/s)		PFR (1/s)	
	R	50W	R	50W	R	50W	R	50W	R	50W	R	50W
JB	68	69	78	80	83	81	69	67	4.73	5.29	4.39	4.74
HB	69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FE	66	63	78	65	75	77	63	59	3.99	5.18	3.11	7.02
OH	72	72	87	79	83	93	64	77	5.38	4.45	2.21	4.57
JK	67	69	90	88	90	93	65	66	5.70	5.78	4.84	7.29
HK	60	60	75	72	83	77	53	53	3.95	4.29	4.88	5.57
AL	64	69	72	75	88	91	70	64	3.13	4.83	3.60	5.81
WM	73	68	73	74	79	77	70	66	4.59	6.36	2.33	5.10
JM	65	56	83	66	87	82	50	56	4.08	3.49	2.82	3.35
FM	70	72	88	-	93	-	70	-	4.58	-	4.66	-
TP	72	70	84	92	83	95	73	75	3.65	4.61	2.63	7.61
PS	75	56	85	69	89	76	75	57	3.61	8.41	3.07	18.53
AS	59	64	84	78	76	84	47	61	3.66	4.30	2.11	3.47
US	68	67	81	58	88	92	80	79	4.79	10.86	6.20	12.99
AW	65	64	88	73	82	86	60	68	4.06	10.47	2.12	8.13
XW	57	61	80	81	74	74	48	48	2.91	4.87	1.70	3.97
KY	69	71	90	95	86	90	63	70	5.45	7.74	5.89	13.68
JF	69	75	84	82	92	94	74	84	5.26	3.70	3.29	4.10
HHa	76	75	88	88	94	95	76	70	5.46	4.65	3.80	6.05
HHe	63	57	85	85	80	73	40	34	4.31	5.16	1.78	4.33
AM	55	60	70	59	59	66	39	48	2.84	5.99	1.78	6.60
HS	85	78	95	94	97	96	80	77	4.81	4.73	4.60	4.78
WP	68	71	90	90	84	88	48	57	4.29	9.69	2.86	12.29
MA	82	78	90	87	94	93	65	74	4.69	3.92	2.64	3.64

Tab. 10: Globale Auswurffraktion (EF), regionale Auswurffraktion im posterolateralen (EF_{pl}), apikoinferioren (EF_{ai}) sowie antero-septalen (EF_{as}) Bereich, maximale Entleerungs- (PER) und maximale Füllungsrate (PFR) postoperativ in Ruhe (R) und unter Belastung (50W) der einzelnen Patienten mit postoperativ normaler Auswurffraktion.

Pat.	PAP (mmHg)						Co (l/min)		O ₂ Sat.(%)		HR(S/min)		RR (mmHg)				NYHA
	R			50W			R	50W	R	50W	R	50W	R	50W			
	s/	d/	m	s/	d/	m									s/	d/	
JB	30	7	15	42	10	26	8.0	12.4	-	-	74	98	135/75	170/85		I	
HB	30	10	19	-	-	-	5.7	-	72	-	67	-	175/100	-		II	
FE	19	5	11	33	12	22	7.1	12.0	77	56	73	112	140/95	145/100		I	
OH	17	2	9	25	7	16	4.6	8.3	70	55	72	94	100/70	150/90		I	
JK	20	4	10	30	10	18	9.4	15.6	77	63	72	119	150/90	160/90		I	
HK	19	10	14	42	22	28	9.3	15.0	73	53	102	130	140/95	140/95		I	
AL	30	10	18	50	24	37	4.8	7.9	62	39	69	104	115/75	140/90		I	
WM	17	5	12	35	11	22	4.2	11.3	66	50	60	86	95/60	145/90		I	
JM	13	3	8	41	11	24	8.5	12.4	73	56	75	94	145/95	175/115		I	
FM	18	4	10	35	12	19	3.3	7.4	64	41	92	127	155/110	210/125		I	
TP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	51	106	140/100	185/100		I	
PS	39	5	17	71	17	37	5.3	9.3	70	37	76	133	150/75	160/105		I	
AS	22	6	14	43	16	28	5.7	10.7	71	50	69	90	130/80	155/85		I	
US	25	7	13	38	9	24	9.3	13.7	76	54	110	153	150/95	165/105		I	
AW	18	3	10	56	11	35	4.6	11.0	67	43	64	110	135/75	180/90		I	
XW	19	1	9	48	13	27	3.7	11.3	73	48	56	89	140/70	150/80		I	
KY	17	3	10	38	11	25	6.9	13.1	69	49	73	98	145/105	170/105		III	
JF	20	3	10	34	9	23	7.4	12.6	72	60	64	98	130/70	160/80		I	
HHa	16	5	13	31	14	27	6.6	13.8	70	-	74	99	120/80	130/90		I	
HHe	16	1	8	42	15	28	5.3	9.8	63	49	53	103	160/80	190/80		I	
AM	21	2	8	45	13	28	5.4	11.0	68	49	63	110	125/80	150/85		I	
HS	15	2	8	27	8	18	5.8	10.7	72	56	70	96	125/75	130/70		I	
WP	26	8	16	60	23	38	5.1	13.3	66	44	70	106	140/95	190/110		I	
MA	27	5	13	50	12	27	5.0	10.4	71	52	78	100	135/90	140/95		I	

Tab. 11: Pulmonalarteriendruck (PAP) systolisch (s), diastolisch (d), mittel (m), Herzminutenvolumen (CO), Sauerstoffsättigung (O₂Sat.), Herzfrequenz (HF), Blutdruck (RR) systolisch (s) und diastolisch (d) postoperativ in Ruhe (R) und unter Belastung (50W) sowie New-York-Heart-Association-Klassifikation (NYHA) der einzelnen Patienten mit postoperativ normaler Auswurfraction.

4.3. Präoperative Untersuchungen in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ pathologischem Verhalten der Auswurffraktion

Die bei den individuellen Patienten erhobenen Daten sind in den Tabellen 14 und 15 zusammengestellt. Die Mittelwerte der untersuchten Parameter in Ruhe und unter Belastung sowie deren Vergleich sind aus den Tabellen 12 und 13 ersichtlich.

	EF (%) (n=13)		EFpl (%) (n=10)		EFai (%) (n=10)		EFas (%) (n=10)		PER (1/s) (n=10)		PFR (1/s) (n=10)	
	R	50W	R	50W	R	50W	R	50W	R	50W	R	50W
MW	31	26	46	39	37	30	35	28	2.29	2.83	1.75	3.00
$\pm$ 1 SD	9	7	9	11	13	11	8	9	0.68	1.39	0.48	1.59
Sign.	p<0.005		p<0.005		p<0.025		p<0.05		n.s.		p<0.025	

Tab. 12: Verhalten präoperativer, mit Hilfe von Radionuklid-
den ermittelter Parameter in Ruhe und unter Belastung bei
Patienten mit postoperativ pathologischer Auswurffraktion.
Globale Auswurffraktion (EF), regionale Auswurffraktion im
posterolateralen (EF_{pl}), apikoinferioren (EF_{ai}) sowie
anateroseptalen (EF_{as}) Bereich, maximale Entleerungsrate
(PER), maximale Füllungsrate (PFR), Patientenzahl (n), Ruhe
(R), Belastung (50W), Mittelwert (MW), Standardabweichung
(SD).

4.3.1. Globale Auswurffraktion (n=13):

In Ruhe betrug die Auswurffraktion $31 \pm 9\%$, die unter Belastung auf $26 \pm 7\%$ abfiel ($p < 0,005$). 4/13 Patienten zeigten eine Abnahme der Auswurffraktion um mehr als 5%, und 9/13 Patienten wiesen geringe Schwankungen der Auswurffraktion auf, d.h. innerhalb von 5%. Kein Patient lag mit der Auswurffraktion sowohl in Ruhe als auch unter Belastung im Normbereich (Abb. 24).

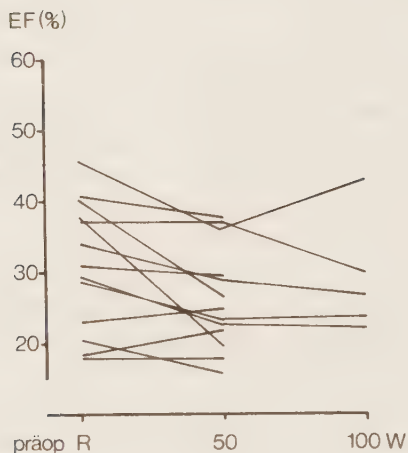


Abb. 24: Präoperative Auswurffraktion in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ pathologischer Auswurffraktion.

4.3.2. Regionale Auswurffraktion - posterolateraler Bereich (n=10):

In Ruhe fand sich für die posterolaterale Auswurffraktion ein Wert von $46 \pm 9\%$, der unter Belastung auf $39 \pm 11\%$ abnahm ($p < 0,005$). 7/10 Patienten zeigten unter Belastung einen Abfall dieser regionalen Auswurffraktion um mehr als 5%, und 3/10 Patienten wiesen geringe Schwankungen in einem Bereich von 5% auf. Weder in Ruhe noch unter Belastung fanden sich normale Werte für diese regionale Auswurffraktion (Abb. 25).

4.3.3. Regionale Auswurffraktion - apikoinferiorer Bereich (n=10):

In Ruhe betrug die apikoinferiore Auswurffraktion $37 \pm 13\%$, die unter Belastung auf $30 \pm 11\%$ abfiel ($p < 0,025$). 7/10 Patienten wiesen eine Abnahme um mehr als 5% auf, und 3/10 Patienten zeigten ein weitgehend konstantes Verhalten der posterolateralen Auswurffraktion mit Schwankungen in einem Bereich von 5%. Weder in Ruhe noch unter Belastung fand sich ein im Normbereich liegender Wert (Abb. 25).

4.3.4. Regionale Auswurffraktion - anterosseptaler Bereich (n=10):

Die anterosseptale Auswurffraktion betrug in Ruhe $35 \pm 8\%$ mit einer Abnahme auf $28 \pm 9\%$ unter Belastung ($p < 0,05$). 5/10 Patienten wiesen einen Abfall der anterosseptalen Auswurffraktion über 5% auf; 3/10 Patienten gingen nur mit geringen Schwankungen dieser regionalen Auswurffraktion einher, d.h. in einem Bereich von 5%, und 2/10 Patienten zeigten eine Zunahme über 5%. Weder in Ruhe noch unter Belastung fanden sich normale Werte für die anterosseptale Auswurffraktion (Abb. 25).

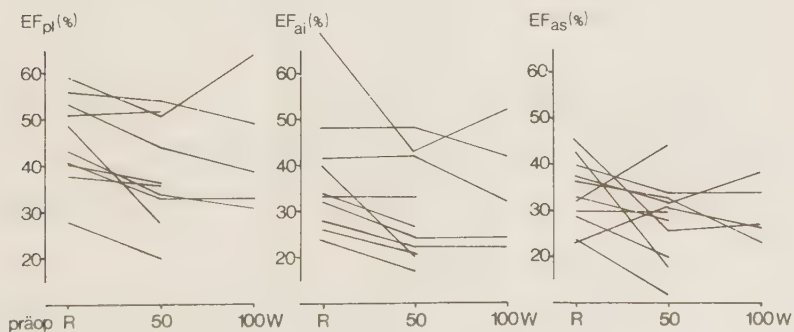


Abb. 25: Präoperative regionale Auswurffraktionen in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ pathologischer Auswurffraktion.

4.3.5. Maximale Entleerungsrate (n=10):

In Ruhe ergab sich ein Wert für die maximale Entleerungsrate von $2,29 \pm 0,68 \text{ sec}^{-1}$ ohne wesentliche Veränderung unter Belastung mit $2,83 \pm 1,39 \text{ sec}^{-1}$ (n.s.). Dabei wiesen 6/10 Patienten nur geringe Schwankungen auf, d.h. in einem Bereich von $0,5 \text{ sec}^{-1}$; 3/10 Patienten zeigten eine Zunahme um mehr als $0,5 \text{ sec}^{-1}$, und lediglich bei 1/10 Patienten war ein Abfall über $0,5 \text{ sec}^{-1}$ zu beobachten (Abb. 26).

4.3.6. Maximale Füllungsrate (n=10):

In Ruhe betrug die maximale Füllungsrate $1,75 \pm 0,48 \text{ sec}^{-1}$ mit einer Zunahme unter Belastung auf $3,0 \pm 1,59 \text{ sec}^{-1}$ ($p < 0,025$). Dabei erfuhren 8/10 Patienten eine Zunahme der maximalen Füllungsrate unter Belastung um mehr als $0,5 \text{ sec}^{-1}$, 1/10 Patienten fiel um mehr als $0,5 \text{ sec}^{-1}$ mit der maximalen Füllungsrate ab, und 1/10 Patienten wies nur geringe Schwankungen auf, d.h. in einem Bereich von $0,5 \text{ sec}^{-1}$ (Abb. 26).

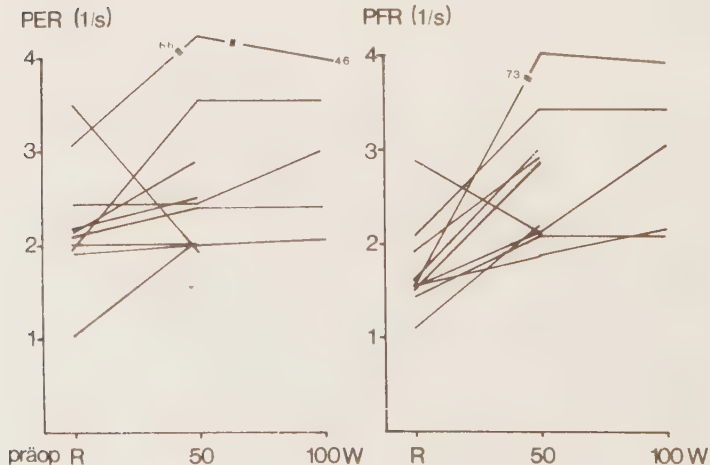


Abb. 26: Maximale Entleerungs- und Füllungsrate präoperativ in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ pathologischer Auswurf fraktion.

	PAP (mmHg) (n=13)		Co (l/min) (n=11)		O ₂ Sat (%) (n=10)		HR (S/min) (n=13)		RR (mmHg) (n=12)	
	R	50W	R	50W	R	50W	R	50W	R	50W
	s/d/m	s/d/m							s/d	s/d
MW	44/21/32	75/36/53	5.2	8.5	62	43	84	117	138/72	167/86
+1 SD	20/13/15	17/8/11	0.7	2.3	7	7	17	17	16/8	21/15

Tab. 13: Verhalten präoperativer, hämodynamisch klinischer Parameter in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ pathologischer Auswurffraktion.

Pulmonalarteriendruck (PAP), Herzminutenvolumen (Co), Sauerstoffsättigung (O₂Sat), Herzfrequenz (HR), Blutdruck (RR), Patientenzahl (n), Ruhe (R), Belastung (50W), systolisch (s), diastolisch (d), mittel (m), Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD).

4.3.7. Pulmonalarteriendruck (n=13):

In Ruhe betrug der Pulmonalarteriendruck systolisch 44 ± 20 mmHg, diastolisch 21 ± 13 mmHg und im Mittel 32 ± 15 mmHg. Dieser stieg unter Belastung systolisch auf 75 ± 17 mmHg, diastolisch auf 36 ± 8 mmHg und im Mittel auf 53 ± 11 mmHg an. In Ruhe lagen 6/13 Patienten und unter Belastung keine Patienten mit dem mittleren Pulmonalarteriendruck im Normbereich (Abb. 27).

4.3.8. Herzminutenvolumen (n=11):

Es fand sich für das Herzminutenvolumen in Ruhe ein Wert von $5,2 \pm 0,7$ l/min mit einem Anstieg auf $8,5 \pm 2,3$ l/min unter Belastung. In Ruhe wiesen 9/11 Patienten und unter Belastung 5/11 Patienten normale Werte für das Herzminutenvolumen auf (Abb. 27).

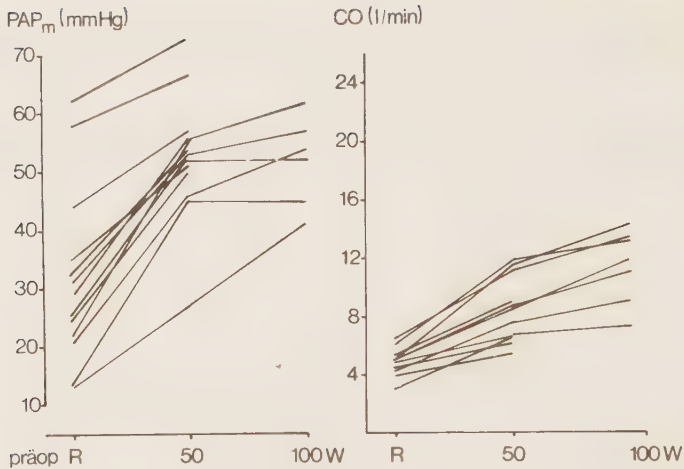


Abb. 27: Mittlerer Pulmonalarteriendruck und Herzminutenvolumen präoperativ in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ pathologischer Auswurffraktion.

4.3.9. Sauerstoffsättigung in der Art. pulmonalis (n=10):

In Ruhe betrug die Sauerstoffsättigung $62 \pm 7\%$ mit einer Abnahme auf $43 \pm 7\%$ unter Belastung. Dabei fand sich in Ruhe bei 8/10 Patienten eine Sauerstoffsättigung über 60%, und unter Belastung wiesen 6/10 Patienten eine Sauerstoffsättigung über 40% auf (Abb. 28).

4.3.10. Herzfrequenz (n=13):

In Ruhe betrug die Herzfrequenz 84 ± 17 S/min mit einer Zunahme auf 117 ± 17 S/min unter Belastung. Dabei zeigten in Ruhe 11/13 Patienten eine Herzfrequenz zwischen 60 und 100 S/min, und 8/13 Patienten lagen unter Belastung mit der Herzfrequenz unter 120 S/min (Abb. 28).

4.3.11. Blutdruck (n=12):

Der Blutdruck betrug in Ruhe systolisch 138 ± 16 mmHg und diastolisch 72 ± 8 mmHg. Unter Belastung war eine Zunahme des Blutdrucks systolisch auf 167 ± 21 mmHg und diastolisch auf 86 ± 15 mmHg zu beobachten. 4/12 Patienten wiesen in Ruhe einen systolischen Blutdruck unter 140 mmHg auf, und 8/12 Patienten lagen mit dem diastolischen Blutdruck zwischen 70 und 90 mmHg. Unter Belastung fand sich bei 10/12 Patienten ein systolischer Blutdruck unter 190 mmHg; 11/12 Patienten wiesen einen diastolischen Blutdruck zwischen 70 und 90 mmHg auf (Abb. 28).

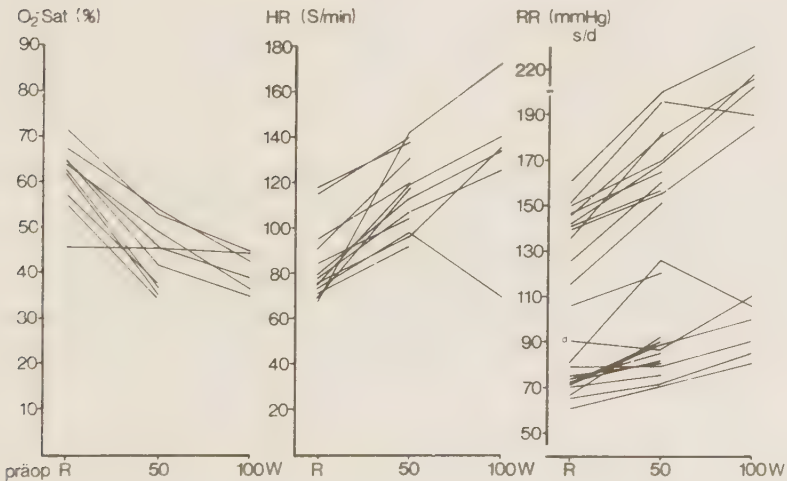


Abb. 28: Sauerstoffsättigung, Herzfrequenz, systolischer und diastolischer Blutdruck präoperativ in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ pathologischer Auswurf fraktion.

Pat.	EF (%)	EF _{pl} (%)	EF _{ai} (%)	EF _{as} (%)	PER (1/s)	PFR (1/s)
	R 50W	R 50W	R 50W	R 50W	R 50W	R 50W
AE	23 20	38 36	26 21	24 12	2.18 2.16	1.50 2.67
EK	41 38	51 52	33 33	32 44	3.51 1.91	2.84 2.27
JK	29 24	41 33	28 22	40 34	1.91 3.57	1.46 2.21
WL	18 18	13	19	25	2.20	2.71
VM	37 37	56 54	41 42	37 33	2.40 2.35	1.54 2.21
FN	38 20	49 28	40 21	43 18	2.34 2.49	1.67 3.04
GR	46 37	59 51	69 43	46 25	3.15 6.55	1.51 7.32
WT	29 23	43 34	32 24	24 31	1.85 1.95	1.55 1.81
ES	40 27	41 36	33 27	33 28	2.30 2.70	1.90 2.80
HW	34 29	53 44	48 48	37 32	2.24 2.45	2.26 3.40
KR	21 16	28 20	24 17	29 20	1.05 2.14	1.23 2.31
EE	31 29	44	23	30	- 2.16	1.99
RS	18 22	21 -	13 -	28 -	2.05 -	1.89 -

Tab. 14: Globale Auswurffraktion (EF), regionale Auswurffraktion im posterolateralen (EF_{pl}), apikoinferioren (EF_{ai}) sowie antero-septalen (EF_{as}) Bereich, maximale Entleerungs- (PER) und maximale Füllungsrate (PFR) präoperativ in Ruhe (R) und unter Belastung (50W) der einzelnen Patienten mit postoperativ pathologischer Auswurffraktion.

Pat.	PAP (mmHg)						Co (l/min)		O ₂ Sat.(%)		HR(S/min)		RR (mmHg)				NYHA
	R			50W			R	50W	R	50W	R	50W	R		50W		
	s/	d/	m	s/	d/	m							s/	d	s/	d	
AE	62	28	44	96	35	57	4.6	6.2	-	-	95	120	140/70	155/75			IV
EK	38	15	25	70	34	50	5.1	6.6	62	35	71	92	105/75	120/80			IV
JK	45	21	31	77	34	53	4.5	7.6	64	49	78	107	145/60	180/70			IV
WL	79	46	62	93	53	73	4.9	-	52	-	118	138	170/110	-			IV
VM	17	6	13	36	16	27	6.6	11.2	72	53	76	96	150/65	170/70			III
FN	31	12	22	80	38	55	5.6	9.0	64	37	69	118	135/65	180/90			II-III
GR	21	7	13	71	32	45	5.4	11.6	64	46	75	119	150/80	195/125			II-III
WT	27	15	21	55	37	45	5.0	6.4	65	42	68	142	140/80	170/80			IV
ES	41	19	32	70	38	53	5.0	8.5	-	-	84	114	145/75	165/85			I
HW	40	18	29	80	34	55	5.4	8.5	46	46	79	112	160/70	200/90			I
KR	47	24	35	70	37	51	4.1	5.6	58	37	91	130	115/65	150/90			IV
EE	38	13	25	72	38	53	6.1	11.9	68	54	72	96	140/90	155/85			II
RS	80	47	58	100	42	67	2.3	-	56	35	115	140	125/70	160/80			IV

Tab. 15: Pulmonalarteriendruck (PAP) systolisch (s), diastolisch (d), mittel (m), Herzminutenvolumen (CO), Sauerstoffsättigung (O₂Sat.), Herzfrequenz (HF), Blutdruck (RR) systolisch (s) und diastolisch (d) präoperativ in Ruhe (R) und unter Belastung (50W) sowie New-York-Heart-Association-Klassifikation (NYHA) der einzelnen Patienten mit postoperativ pathologischer Auswurffraktion.

4.4. Postoperative Untersuchungen in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ pathologischem Verhalten der Auswurffraktion

Die bei den individuellen Patienten erhobenen Daten sind in den Tabellen 18 und 19 zusammengestellt. Die Mittelwerte der untersuchten Parameter in Ruhe und unter Belastung sowie deren Vergleich sind aus den Tabellen 16 und 17 ersichtlich.

	EF (%) (n=13)		EFpl (%) (n=11)		EFai (%) (n=11)		EFas (%) (n=11)		PER (1/s) (n=10)		PFR (1/s) (n=11)	
	R	50W	R	50W	R	50W	R	50W	R	50W	R	50W
MW	35	32	62	59	43	40	32	26	3.22	3.64	2.48	5.35
+1SD	14	15	22	18	21	19	17	14	1.30	1.57	1.29	2.90
Sign.	p<0.05		n.s.		p<0.05		n.s.		n.s.		p<0.01	

Tab. 16: Verhalten postoperativer, mit Hilfe von Radionukliden ermittelter Parameter in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ pathologischer Auswurffraktion.

Globale Auswurffraktion (EF), regionale Auswurffraktion im posterolateralen (EF_{pl}), apikoinferioren (EF_{ai}) sowie anteroseptal (EF_{as}) Bereich, maximale Entleerungsrate (PER), maximale Füllungsrate (PFR), Patientenzahl (n), Ruhe (R), Belastung (50W), Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD).

4.4.1. Globale Auswurffraktion (n=13):

In Ruhe betrug die linksventrikuläre Auswurffraktion $35 \pm 14\%$ mit einer Abnahme unter Belastung auf $32 \pm 15\%$ ($p < 0,05$). 4/13 Patienten zeigten unter Belastung einen Abfall der Auswurffraktion um mehr als 5%, und 9/13 Patienten wiesen geringe Schwankungen der Auswurffraktion auf, d.h. in einem Bereich von 5%. Weder in Ruhe noch unter Belastung zeigten die Patienten Normwerte für die Auswurffraktion (Abb. 29).

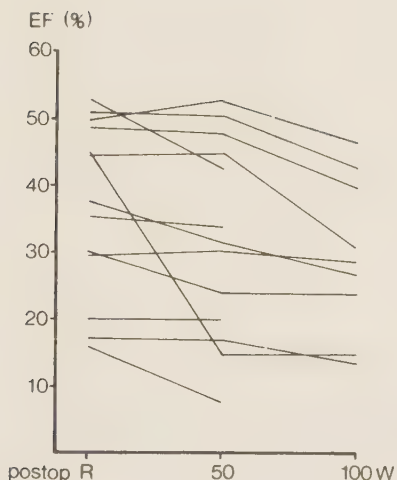


Abb. 29: Postoperative Auswurffrac tion in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ pathologischer Auswurffrac tion.

4.4.2. Regionale Auswurffrac tion - posterolateraler Bereich (n=11):

In Ruhe betrug die posterolaterale Auswurffrac tion $62 \pm 22\%$. Unter Belastung fand sich mit $59 \pm 18\%$ keine Änderung (n.s.). 8/11 Patienten zeigten nur geringe Schwankungen in einem Bereich von 5%, und 3/11 Patienten erfuhren unter Belastung eine Abnahme der posterolateralen Auswurffrac tion über 5%. Sowohl in Ruhe als auch unter Belastung fanden sich jeweils 6/11 Patienten mit einer posterolateralen Auswurffrac tion über 66% (Abb. 30).

4.4.3. Regionale Auswurffraktion - apikoinferiorer Bereich (n=11):

Die apikoinferiore Auswurffraktion wies in Ruhe einen Wert von $43 \pm 21\%$ auf. Unter Belastung nahm diese auf $40 \pm 19\%$ ab ($p < 0,05$). 3/11 Patienten waren mit dieser regionalen Auswurffraktion über 5% abgefallen, und 8/11 Patienten zeigten ein weitgehend konstantes Verhalten mit einem Schwankungsbereich von 5%. Kein Patient wies sowohl in Ruhe als auch unter Belastung Werte über 70% für die apikoinferiore Auswurffraktion auf (Abb. 30).

4.4.4. Regionale Auswurffraktion - anteroseptaler Bereich (n=11):

In Ruhe betrug die anteroseptale Auswurffraktion $32 \pm 17\%$. Unter Belastung fand sich ein Wert von $26 \pm 14\%$ (n.s.). 3/11 Patienten zeigten nur geringe Schwankungen der anteroseptalen Auswurffraktion, d.h. innerhalb von 5%; 6/11 Patienten nahmen um 5% ab, und 2/11 Patienten zeigten eine Zunahme um 5%. 1/11 Patienten lag in Ruhe und keiner der Patienten unter Belastung mit der anteroseptalen Auswurffraktion über 50% (Abb. 30).

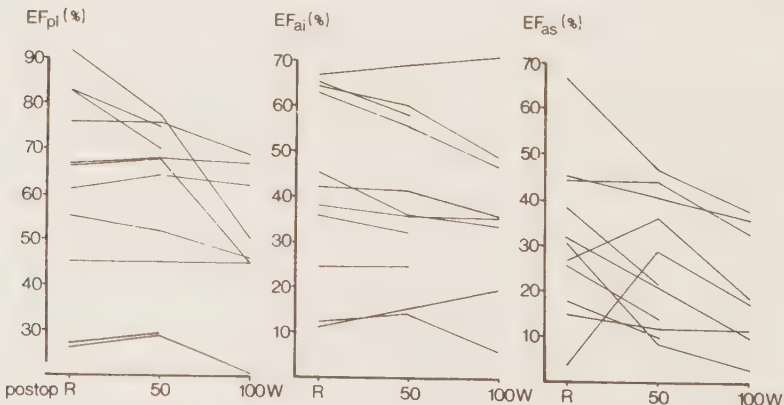


Abb. 30: Postoperative regionale Auswurffraktionen in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ pathologischer Auswurffraktion.

4.4.5. Maximale Entleerungsrate (n=10):

In Ruhe betrug die maximale Entleerungsrate $3,22 \pm 1,30 \text{ sec}^{-1}$, die unter Belastung mit $3,64 \pm 1,57 \text{ sec}^{-1}$ sich nicht wesentlich veränderte (n.s.). Dabei zeigten 3/10 Patienten nur geringe Schwankungen, d.h. in einem Bereich von $0,5 \text{ sec}^{-1}$; 5/10 Patienten wiesen eine Zunahme über $0,5 \text{ sec}^{-1}$ auf, und 2/10 Patienten waren mit der maximalen Entleerungsrate um mehr als $0,5 \text{ sec}^{-1}$ abgefallen (Abb. 31).

4.4.6. Maximale Füllungsrate (n=11):

In Ruhe lag die maximale Füllungsrate bei $2,48 \pm 1,29 \text{ sec}^{-1}$ mit einer Zunahme unter Belastung auf $5,35 \pm 2,90 \text{ sec}^{-1}$ ($p < 0,01$). Es zeigten 10/11 Patienten eine Zunahme der maximalen Füllungsrate um mehr als $0,5 \text{ sec}^{-1}$, während lediglich 1/11 Patienten eine Abnahme um mehr als $0,5 \text{ sec}^{-1}$ aufwies (Abb. 31).

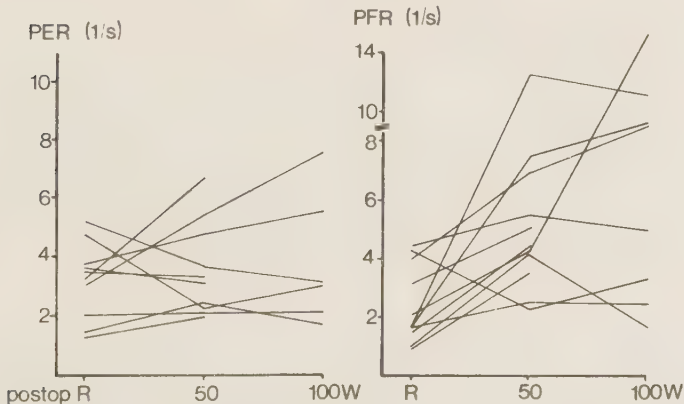


Abb. 31: Maximale Entleerungs- und Füllungsrate postoperativ in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ pathologischer Auswurffraktion.

	PAP (mmHg) (n=13)		Co (l/min) (n=13)		O ₂ Sat (%) (n=11)		HR (S/min) (n=13)		RR (mmHg) (n=13)	
	R	50W	R	50W	R	50W	R	50W	R	50W
	s/d/m	s/d/m							s/d	s/d
MW	24/9/15	54/24/36	5.5	9.6	65	44	74	112	140/90	172/102
+1 SD	8/4/4	12/9/9	1.3	1.7	4	9	10	26	21/12	27/11

Tab. 15: Verhalten postoperativer, hämodynamisch klinischer Parameter in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ pathologischer Auswurffrac tion.

Pulmonalarteriendruck (PAP), Herzminutenvolumen (Co), Sauerstoffsättigung (O₂Sat), Herzfrequenz (HR), Blutdruck (RR), Patientenzahl (n), Ruhe (R), Belastung (50W), systolisch (s), diastolisch (d), mittel (m), Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD).

4.4.7. Pulmonalarteriendruck (n=13):

In Ruhe betrug der Pulmonalarteriendruck systolisch 24 ± 8 mmHg, diastolisch 9 ± 4 mmHg und im Mittel 15 ± 4 mmHg. Unter Belastung war eine Zunahme auf 54 ± 12 mmHg systolisch, auf 24 ± 9 mmHg diastolisch und auf 36 ± 9 mmHg im Mittel zu beobachten. In Ruhe lagen 11/13 Patienten und unter Belastung nur noch 5/13 Patienten mit dem mittleren Pulmonalarteriendruck im Normbereich (Abb. 32).

4.4.8. Herzminutenvolumen (n=13):

Das Herzminutenvolumen betrug in Ruhe $5,5 \pm 1,3$ l/min mit einer Zunahme unter Belastung auf $9,6 \pm 1,7$ l/min. Dabei lagen sowohl in Ruhe als auch unter Belastung jeweils 10/13 Patienten mit dem Herzminutenvolumen im Normbereich (Abb. 32).

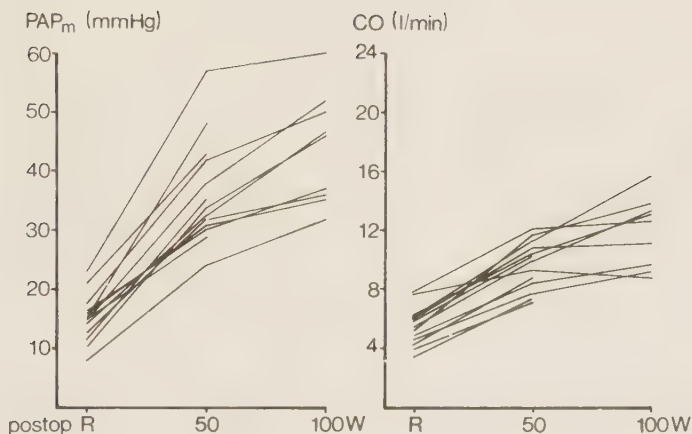


Abb. 32: Mittlerer Pulmonalarteriendruck und Herzminutenvolumen postoperativ in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ pathologischer Auswurffrac-tion.

4.4.9. Sauerstoffsättigung in der Art. pulmonalis (n=11): In Ruhe betrug die Sauerstoffsättigung $65 \pm 4\%$ mit einer Abnahme unter Belastung auf $44 \pm 9\%$. Dabei zeigten 10/11 Patienten in Ruhe eine Sauerstoffsättigung über 60%. Diese lag bei 9/11 Patienten unter Belastung über 40% (Abb. 33).

4.4.10. Herzfrequenz (n=13):

Die Herzfrequenz betrug in Ruhe 74 ± 10 S/min mit einem Anstieg unter Belastung auf 112 ± 26 S/min. In Ruhe wiesen alle Patienten eine im Normbereich liegende Herzfrequenz zwischen 60 und 100 S/min auf. Unter Belastung fand sich bei 9/13 Patienten eine Herzfrequenz unter 120 S/min (Abb. 33).

4.4.11. Blutdruck (n=13):

In Ruhe fand sich ein Blutdruck systolisch von 140 ± 21 mmHg und diastolisch von 90 ± 12 mmHg. Dieser stieg systolisch unter Belastung auf 172 ± 27 mmHg und diastolisch auf 102 ± 11 mmHg an. 5/13 Patienten wiesen in Ruhe einen systolischen Blutdruck unter 140 mmHg auf, und 10/13 Patienten lagen mit dem diastolischen Blutdruck zwischen 70 und 90 mmHg. 9/13 Patienten zeigten bei Belastung systolisch einen Blutdruckanstieg unter 190 mmHg, und diastolisch wiesen 2/13 Patienten einen Blutdruck zwischen 70 und 90 mmHg auf (Abb. 33).

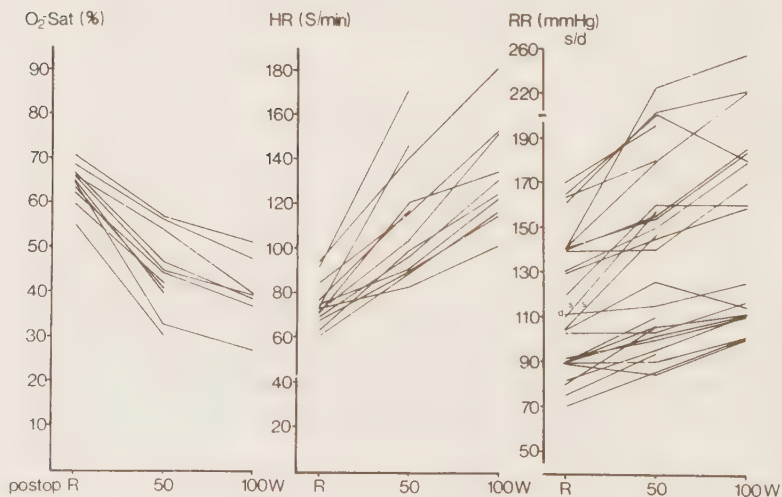


Abb. 33: Sauerstoffsättigung, Herzfrequenz, systolischer und diastolischer Blutdruck postoperativ in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ pathologischer Auswurf fraktion.

Pat.	EF (%)		EF _{pl} (%)		EF _{ai} (%)		EF _{as} (%)		PER (1/s)		PFR (1/s)	
	R	50W	R	50W	R	50W	R	50W	R	50W	R	50W
AE	36	34	83	70	36	32	18	10	3.50	3.29	1.61	4.38
EK	49	48	61	64	46	36	67	47	3.77	4.81	1.88	7.52
JK	16	15	25	-	16	-	8	-	-	-	3.26	-
WL	17	17	27	29	12	14	31	9	1.47	2.53	1.11	4.21
VM	38	32	55	52	42	41	39	22	4.79	2.32	4.29	2.31
FN	51	51	76	76	63	56	27	36	3.36	6.76	1.78	12.61
GR	50	53	67	68	67	69	44	44	3.11	5.50	2.13	4.20
WT	30	24	45	45	38	36	15	12	1.98	2.34	1.78	2.54
ES	53	43	83	75	65	58	32	21	3.60	3.16	3.29	5.02
HW	44	45	67	68	65	60	45	41	5.27	3.66	4.40	5.52
KR	17	8	-	26	-	20	-	10	-	1.71	-	1.79
EE	30	31	92	77	11	14	4	29	2.14	-	4.04	6.99
RS	20	20	26	29	24	24	26	14	1.37	1.99	0.97	3.60

Tab. 18: Globale Auswurffraktion (EF), regionale Auswurffraktion im posterolateralen (EF_{pl}), apikoinferioren (EF_{ai}) sowie antero-septalen (EF_{as}) Bereich, maximale Entleerungs- (PER) und maximale Füllungsrate (PFR) postoperativ in Ruhe (R) und unter Belastung (50W) der einzelnen Patienten mit postoperativ pathologischer Auswurffraktion.

Pat.	PAP (mmHg)						Co (l/min)		O ₂ Sat.(%)		HR(S/min)		RR (mmHg)				NYHA
	R			50W			R	50W	R	50W	R	50W	R		50W		
	s/	d/	m	s/	d/	m							s/	d	s/	d	
AE	24	8	15	46	20	29	3.5	7.3	56	30	77	116	165/90		200/110		I
EK	24	8	16	47	15	30	5.6	9.9	71	57	75	91	120/90		160/100		I
JK	15	8	10	50	25	34	5.7	10.6	66	54	68	90	130/80		145/105		I
WL	40	12	23	76	44	57	7.8	9.4	67	47	94	140	170/105		195/125		I
VM	14	2	8	32	11	24	6.4	10.5	-	55	69	96	140/80		155/95		I
FN	20	8	13	51	19	32	5.1	11.7	-	-	60	90	130/90		150/85		I
GR	21	10	17	68	27	42	4.6	7.6	65	33	62	98	165/105		180/105		I
WT	24	8	14	46	19	32	4.6	8.3	67	45	71	103	140/90		140/90		I
ES	24	18	15	70	30	48	5.8	10.8	64	41	70	120	140/90		180/105		II
HW	25	7	15	60	23	38	7.9	12.1	63	44	84	117	160/90		225/100		I
KR	20	6	12	55	22	34	4.5	8.5	65	40	74	146	105/75		145/95		I
EE	22	10	16	45	19	31	6.1	11.3	68	56	71	83	145/110		200/115		I
RS	42	12	21	57	33	43	4.0	7.2	60	42	91	171	110/70		155/100		I

Tab. 19 : Pulmonalarteriendruck (PAP) systolisch (s), diastolisch (d), mittel (m), Herzminutenvolumen (CO), Sauerstoffsättigung (O₂ Sat.), Herzfrequenz (HF), Blutdruck (RR) systolisch (s) und diastolisch (d) postoperativ in Ruhe (R) und unter Belastung (50W) sowie New-York-Heart-Association-Klassifikation (NYHA) der einzelnen Patienten mit postoperativ pathologischer Auswurffrac-tion.

4.5. Prä- und postoperative Veränderungen von Ventrikel- funktion und Hämodynamik in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normalem Verhalten der Auswurf- fraktion

Die bei den individuellen Patienten erhobenen Daten sind in
den Tabellen 6, 7, 10 und 11 zusammengestellt. Die Mit-
telwerte der untersuchten Parameter prä- und postoperativ
in Ruhe und unter Belastung sind aus den Tabellen 20 und
21 ersichtlich.

	EF (%) (n= 24)		EF (%) (n= 23)		EFpl (%) (n= 23)		EFpl (%) (n= 20)		EFai (%) (n= 23)		EFai (%) (n= 20)	
	R _v	R _s	B _v	B _s	R _v	R _s	B _v	B _s	R _v	R _s	B _v	B _s
MW	59	68	54	67	72	83	64	79	68	84	61	85
+1SD	8	7	9	7	9	7	12	11	11	8	12	9
Sign.	p<0.001		p<0.001		p<0.001		p<0.001		p<0.001		p<0.001	

	EFas (%) (n= 23)		EFas (%) (n= 20)		PER (n= 23)		PER (n= 20)		PFR (n= 23)		PFR (n= 20)	
	R _v	R _s	B _v	B _s	R _v	R _s	B _v	B _s	R _v	R _s	B _v	B _s
	61	63	55	64	4.46	4.34	4.96	5.97	3.63	3.37	6.06	7.25
	9	12	11	12	1.62	0.82	2.15	2.25	2.49	1.32	3.75	4.06
	n.s.		p<0.1		n.s.		p<0.05		n.s.		n.s.	

Tab. 20: Prä- und postoperativ ermittelte Parameter in
Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ
normaler Auswurf fraktion.

Globale Auswurf fraktion (EF), regionale Auswurf fraktion im
posterolateralen (EF_{pl}), apikoinferioren (EF_{ai}) sowie
anteroseptalen (EF_{as}) Bereich, maximale Entleerungsrate
(PER), maximale Füllungsrate (PFR), Patientenzahl (n), Ruhe
(R), Belastung (B), vor Operation (v), spätpostoperativ
(s), Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD).

4.5.1. Globale Auswurffrac tion (n=24):

Präoperativ betrug in Ruhe die linksventrikuläre Auswurf-
fraktion $59 \pm 8\%$, die postoperativ auf $68 \pm 7\%$ zunahm
($p < 0,001$). 13/24 Patienten erfuhren nach Aortenklappener-
satz einen Anstieg der Auswurffrac tion um mehr als 5%.
11/24 Patienten wiesen nur geringe Schwankungen der Aus-
wurffrac tion auf, d.h. im Bereich von 5%. 4/24 Patienten,
die präopeativ eine eingeschränkte Auswurffrac tion zeigten,
lagen postoperativ im Normbereich.

Unter Belastung (n= 23) betrug die linksventrikuläre Aus-
wurffrac tion präoperativ $54 \pm 9\%$ mit einer Zunahme auf $67 \pm$
 7% postoperativ ($p < 0,001$). Dabei zeigten 17/23 Patienten
einen Anstieg der Auswurffrac tion über 5%, 5/23 Patienten
wiesen geringe Schwankungen innerhalb von 5% auf und ledig-
lich 1/23 Patienten nahm mit der Auswurffrac tion um mehr
als 5% ab. 13/23 Patienten mit einer präoperativ einge-
schränkten Auswurffrac tion wiesen postoperativ normale Wer-
te auf (Abb. 34).

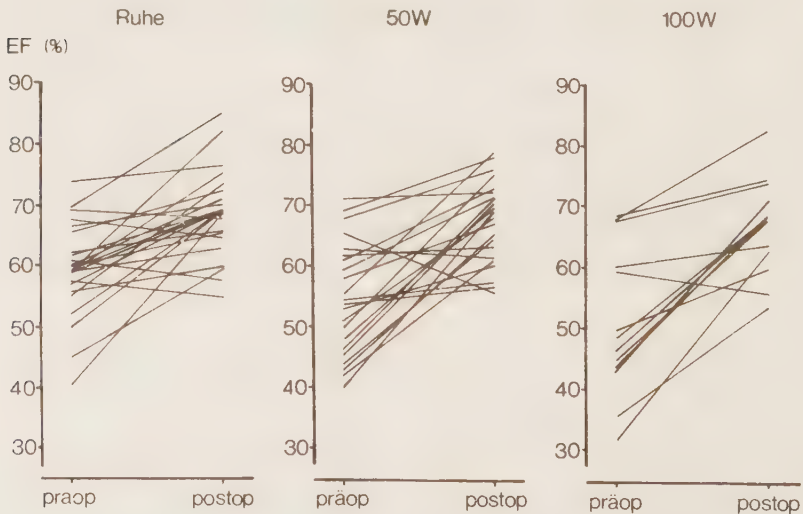


Abb. 34: Prä- und postoperative Auswurffrac tion in Ruhe
und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler
Auswurffrac tion.

4.5.2. Regionale Auswurf fraktion - posterolateraler Bereich (n=23):

Präoperativ betrug die posterolaterale Auswurf fraktion in Ruhe $72 \pm 9\%$ mit einer Zunahme postoperativ auf $83 \pm 7\%$ ($p < 0,001$). 19/23 Patienten zeigten nach Aortenklappenersatz eine Zunahme der posterolateralen Auswurf fraktion um 5%, und 4/23 Patienten wiesen nur geringe Schwankungen dieser regionalen Auswurf fraktion auf, d.h. in einem Bereich von 5%. Präoperativ lagen 18/23 Patienten und postoperativ 23/23 Patienten mit der posterolateralen Auswurf fraktion über 66%.

Unter Belastung (n=20) betrug präoperativ die posterolaterale Auswurf fraktion $64 \pm 12\%$, welche postoperativ einen Anstieg auf $79 \pm 11\%$ erfuhr ($p < 0,001$). 15/20 Patienten wiesen nach Aortenklappenersatz eine Zunahme der posterolateralen Auswurf fraktion um 5% auf, 3/20 Patienten zeigten eine Abnahme über 5%, und lediglich bei 2/20 Patienten fand sich ein weitgehend konstantes Verhalten dieser regionalen Auswurf fraktion mit einem Schwankungsbereich von 5%. Präoperativ lagen 8/20 Patienten und postoperativ 17/20 Patienten mit der posterolateralen Auswurf fraktion über 66% (Abb. 35).

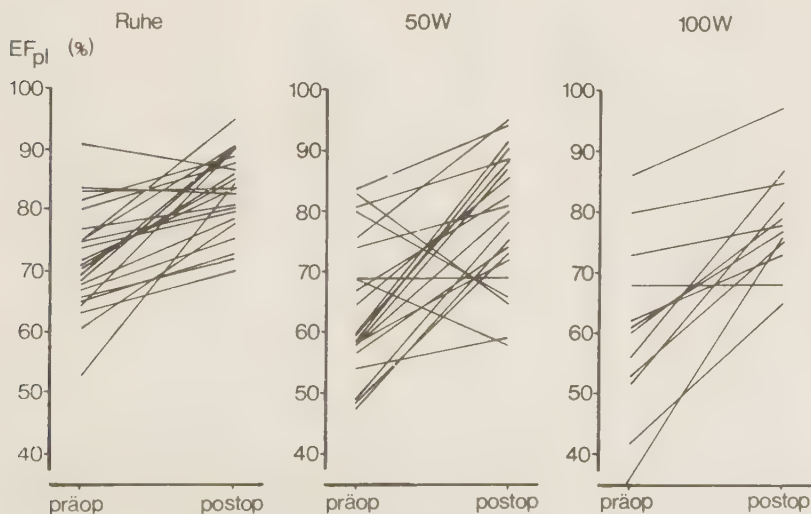


Abb. 35: Posterolaterale Auswurf fraktion prä- und postoperativ in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler Auswurf fraktion.

4.5.3. Regionale Auswurffrac-tion - apikoinferiorer Bereich (n=23):

Präoperativ betrug in Ruhe die apikoinferiore Auswurffrac-tion $68 \pm 11\%$ mit einer Zunahme auf $84 \pm 8\%$ postoperativ ($p < 0,001$). 19/23 Patienten wiesen einen Anstieg der api-koinferioren Auswurffrac-tion über 5% auf, und bei 4/23 Pa-tienten fand sich ein weitgehend unverändertes Verhalten dieser regionalen Auswurffrac-tion, d.h. es waren lediglich Schwankungen innerhalb von 5% zu beobachten. Präoperativ wiesen 11/23 Patienten und postoperativ 22/23 Patienten eine apikoinferiore Auswurffrac-tion über 70% auf.

Unter Belastung (n=20) lag präoperativ eine apikoinferiore Auswurffrac-tion von $61 \pm 12\%$ vor, welche nach Aortenklap-penersatz auf $85 \pm 9\%$ zunahm ($p < 0,001$). 19/20 Patienten erfuhren eine Zunahme der apikoinferioren Auswurffrac-tion um mehr als 5%, während lediglich 1/20 Patienten Schwan-kungen innerhalb von 5% aufwies. 5/20 Patienten lagen prä-operativ und 19/20 Patienten postoperativ mit der apikoin-fერიoren Auswurffrac-tion bei Belastung über 70% (Abb. 36).

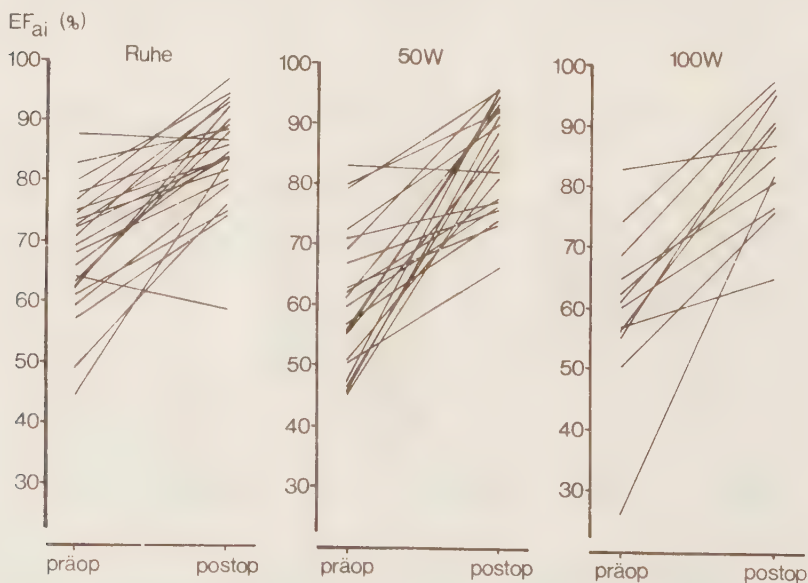


Abb. 36: Apikoinferiore Auswurffrac-tion prä- und postopera-tiv in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postope-rativ normaler Auswurffrac-tion.

4.5.4. Regionale Auswurffrac-tion - anteroseptaler Bereich (n=23):

Präoperativ betrug die anteroseptale Auswurffrac-tion in Ruhe $61 \pm 9\%$ ohne eine wesentliche Veränderung nach Aortenklappenersatz mit $63 \pm 12\%$ (n.s.). 6/23 Patienten zeigten nur geringe Schwankungen, d.h. innerhalb von 5%; 10/23 Patienten wiesen eine Zunahme über 5% auf, und bei 7/23 Patienten fand sich eine Abnahme der anteroseptalen Auswurffrac-tion über 5%. Präoperativ lagen 22/23 Patienten und postoperativ 18/23 Patienten mit dieser regionalen Auswurffrac-tion über 50%.

Unter Belastung (n=20) betrug die anteroseptale Auswurffrac-tion $55 \pm 11\%$, welche postoperativ mit $64 \pm 12\%$ eine Zunahme erfuhr ($p < 0,01$). 13/20 Patienten wiesen eine Zunahme der anteroseptalen Auswurffrac-tion über 5% auf; 4/20 Patienten zeigten nur geringe Schwankungen, d.h. in einem Bereich von 5%, und 3/20 Patienten fielen mit der anteroseptalen Auswurffrac-tion über 5% ab. 15/20 Patienten lagen präoperativ und 18/20 Patienten postoperativ mit der anteroseptalen Auswurffrac-tion über 50% (Abb. 37).

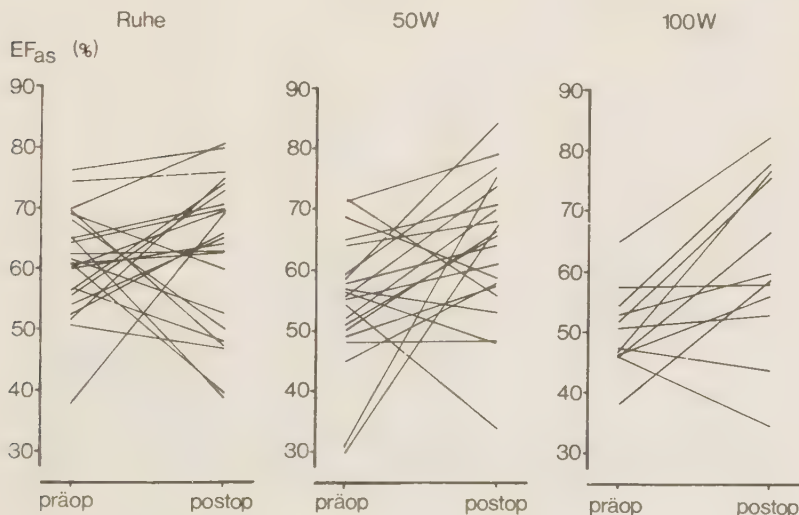


Abb. 37: Anteroseptale Auswurffrac-tion prä- und postopera-tiv in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postope-rativ normaler Auswurffrac-tion.

4.5.5. Maximale Entleerungsrate (n=23):

Präoperativ betrug in Ruhe die maximale Entleerungsrate $4,46 \pm 1,62 \text{ sec}^{-1}$ ohne eine wesentliche Veränderung mit $4,34 \pm 0,82 \text{ sec}^{-1}$ postoperativ (n.s.). Bei Betrachtung der Einzelwerte fand sich, daß 12/23 Patienten mit der maximalen Entleerungsrate um mehr als $0,5 \text{ sec}^{-1}$ angestiegen waren, 8/23 Patienten eine Abnahme um mehr als $0,5 \text{ sec}^{-1}$ aufwiesen und 3/23 Patienten geringe Schwankungen zeigten, d.h. in einem Bereich von $0,5 \text{ sec}^{-1}$.

Unter Belastung (n=10) betrug präoperativ die maximale Entleerungsrate $4,96 \pm 2,15 \text{ sec}^{-1}$ mit einer Zunahme postoperativ auf $5,97 \pm 2,25 \text{ sec}^{-1}$ ($p < 0,05$). Dabei zeigte sich, daß postoperativ 11/20 Patienten mit der maximalen Entleerungsrate unter Belastung um mehr als $0,5 \text{ sec}^{-1}$ angestiegen waren; 5/20 Patienten wiesen nur geringe Schwankungen auf, d.h. in einem Bereich von $0,5 \text{ sec}^{-1}$, und 4/20 Patienten waren um mehr als $0,5 \text{ sec}^{-1}$ abgefallen (Abb. 38).

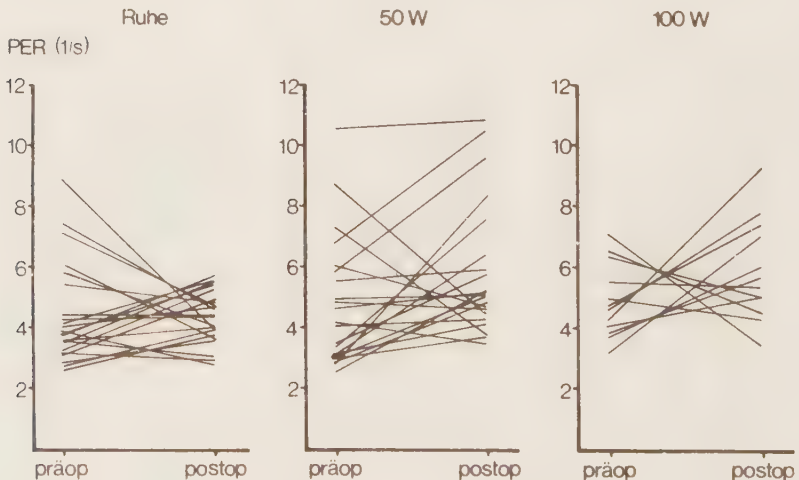


Abb. 38: Maximale Entleerungsrate prä- und postoperativ in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler Auswurffraktion.

4.5.6. Maximale Füllungsrate (n=23):

Präoperativ lag in Ruhe für die maximale Füllungsrate ein Wert von $3,63 \pm 2,49 \text{ sec}^{-1}$ vor ohne wesentliche Veränderung postoperativ mit $3,37 \pm 1,32 \text{ sec}^{-1}$ (n.s.). Bei Betrachtung der Einzelwerte nahm im Vergleich zur präoperativen Untersuchung bei 12/23 Patienten die maximale Füllungsrate um mehr als $0,5 \text{ sec}^{-1}$ zu, bei 8/23 Patienten über $0,5 \text{ sec}^{-1}$ ab, und bei 3/23 Patienten war ein konstantes Verhalten zu beobachten, d.h. in einem Bereich von $0,5 \text{ sec}^{-1}$.

Unter Belastung (n=20) betrug präoperativ die maximale Füllungsrate $6,06 \pm 3,75 \text{ sec}^{-1}$, die postoperativ mit $7,25 \pm 4,06$ keine Veränderung erfuhr (n.s.). Dabei waren bei Betrachtung der Einzelwerte 12/20 Patienten mit der maximalen Füllungsrate über $0,5 \text{ sec}^{-1}$ angestiegen, 5/20 Patienten um mehr als $0,5 \text{ sec}^{-1}$ abgefallen, und 3/20 Patienten wiesen nur geringe Schwankungen in einem Bereich von $0,5 \text{ sec}^{-1}$ auf (Abb. 39).

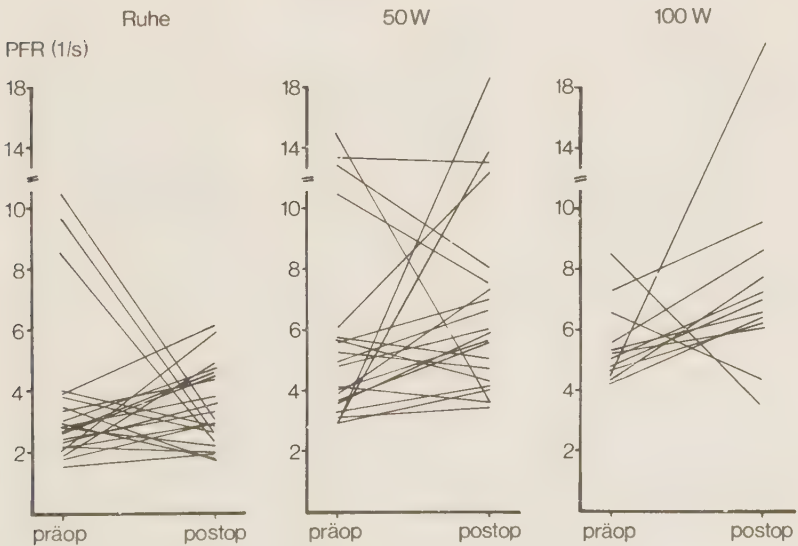


Abb. 39: Maximale Füllungsrate prä- und postoperativ in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler Auswurf fraktion.

	PAP (mmHg) (n=23)		PAP (mmHg) (n=22)		Co (l/min) (n=23)		Co (l/min) (n=22)		O ₂ Sat (%) (n=19)	
	R _v	R _s	B _v	B _s	R _v	R _s	B _v	B _s	R _v	R _s
	s/d/m	s/d/m	s/d/m	s/d/m	s/d/m	s/d/m	s/d/m	s/d/m	s/d/m	s/d/m
MW	26/10/17	22/5/12	49/19/32	42/13/26	6.1	6.1	11.3	11.5	67	70
±SD	10/4/7	6/3/3	16/7/9	11/5/6	1.5	1.8	1.7	2.2	4	4
Sign.	PAP _s : p<0.01 PAP _d : p<0.001 PAP _m : p<0.001		PAP _s : p<0.01 PAP _d : p<0.001 PAP _m : p<0.005		n.s.		n.s.		p<0.01	

O ₂ Sat (%) (n=17)		HR (S/min) (n=23)		HR (S/min) (n=23)		RR (mmHg) (n=24)		RR (mmHg) (n=23)		NYHA (n=24)	
B _v	B _s	R _v	R _s	B _v	B _s	R _v	R _s	B _v	B _s	v	s
s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
51	50	77	72	111	107	150/64	137/85	185/79	160/94	2.1	1.1
6	7	11	14	16	16	24/12	18/13	22/19	21/13	0.9	0.5
n.s.		n.s.		n.s.		RR _s : p<0.01 RR _d : p<0.001		RR _s : p<0.001 RR _d : p<0.001		p<0.001	

Tab. 21: Prä- und postoperativ ermittelte Parameter in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler Auswurffraktion.

Pulmonalarteriendruck (PAP), Herzminutenvolumen (Co), Sauerstoffsättigung (O₂Sat), Herzfrequenz (HR), Blutdruck (RR), New-York-Heart-Association-Klassifikation (NYHA), Patientenzahl (n), Ruhe (R), Belastung (B), vor Operation (v), spätpostoperativ (s), systolisch, diastolisch, mittel (s/d/m), Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD).

4.5.7. Pulmonalarteriendruck (n=23):

Präoperativ betrug in Ruhe der Pulmonalarteriendruck systolisch 26 ± 10 mmHg, diastolisch 10 ± 4 mmHg und im Mittel 17 ± 7 mmHg. Postoperativ war eine Abnahme des Pulmonalarteriendrucks systolisch auf 22 ± 6 mmHg ($p < 0,01$), diastolisch auf 5 ± 3 mmHg ($p < 0,001$) und im Mittel auf 12 ± 3 mmHg ($p < 0,001$) zu beobachten. Präoperativ wiesen 18/23 Patienten und postoperativ 23/23 Patienten normale Werte für den mittleren Pulmonalarteriendruck auf.

Unter Belastung (n=22) ergab sich ein Pulmonalarteriendruck systolisch von 49 ± 16 mmHg, diastolisch von 19 ± 7 mmHg und im Mittel von 32 ± 9 mmHg. Nach Aortenklappenersatz war eine Abnahme des Pulmonalarteriendrucks systolisch auf 42 ± 11 mmHg ($p < 0,01$), diastolisch auf 13 ± 5 mmHg ($p < 0,001$) und im Mittel auf 26 ± 6 mmHg ($p < 0,005$) zu verzeichnen. Präoperativ lagen 12/22 Patienten und postoperativ 21/22 Patienten mit dem mittleren Pulmonalarteriendruck im Normbereich (Abb. 40).

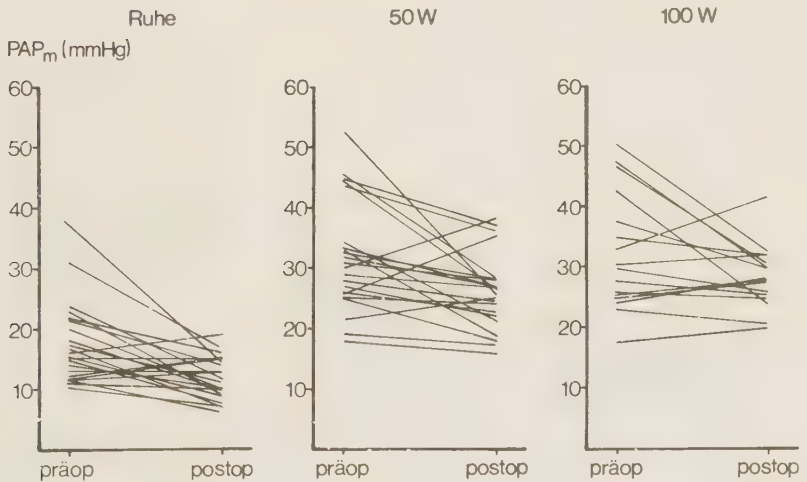


Abb. 40: Mittlerer Pulmonalarteriendruck prä- und postoperativ in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler Auswurf fraktion.

4.5.8. Herzminutenvolumen (n=23):

In Ruhe betrug präoperativ das Herzminutenvolumen $6,1 \pm 1,5$ l/min ohne eine Veränderung postoperativ mit $6,1 \pm 1,8$ l/min (n.s.). Präoperativ lagen 18/23 Patienten und postoperativ 22/23 Patienten mit dem Herzminutenvolumen im Normbereich.

Unter Belastung (n=22) zeigte sich ein Herzminutenvolumen präoperativ von $11,3 \pm 1,7$ l/min, welches sich postoperativ mit $11,5 \pm 2,2$ l/min nicht änderte (n.s.). Alle Patienten wiesen sowohl prä- als auch postoperativ normale Werte für das Herzminutenvolumen auf (Abb. 41).

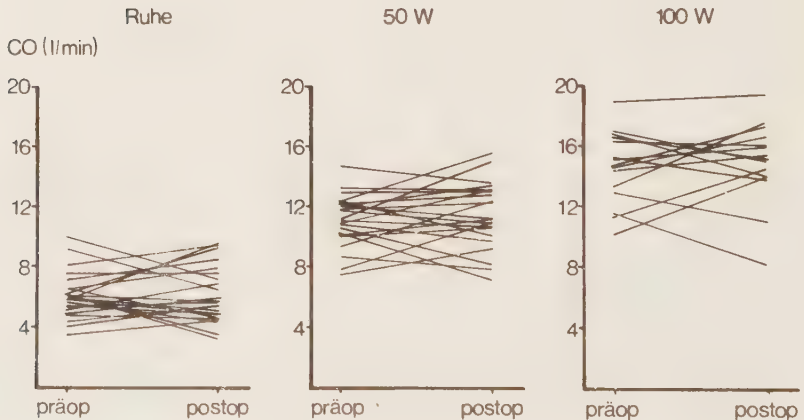


Abb. 41: Herzminutenvolumen prä- und postoperativ in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler Auswurf fraktion.

4.5.9. Sauerstoffsättigung in der Art. pulmonalis (n=19): Präoperativ betrug die Sauerstoffsättigung in Ruhe $67 \pm 4\%$ mit einer Zunahme postoperativ auf $70 \pm 4\%$ ($p < 0,01$). Präoperativ lagen 18/19 Patienten und postoperativ 19/19 Patienten mit der Sauerstoffsättigung über 60%.

Unter Belastung (n=17) wies die Sauerstoffsättigung einen Wert präoperativ von $51 \pm 6\%$ auf, die sich postoperativ mit $50 \pm 7\%$ nicht veränderte (n.s.). Dabei fand sich bei 16/17 Patienten präoperativ und bei 15/17 Patienten postoperativ eine Sauerstoffsättigung über 40% (Abb. 42).

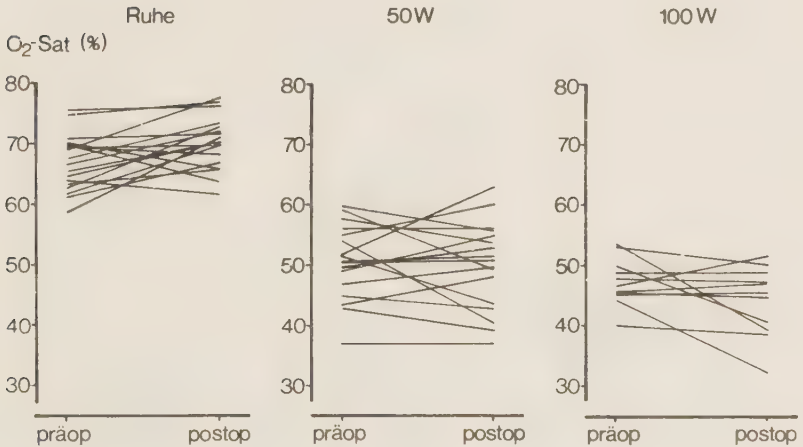


Abb. 42: Sauerstoffsättigung prä- und postoperativ in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler Auswurffrac tion.

4.5.10. Herzfrequenz (n=24):

In Ruhe ergab sich präoperativ eine Herzfrequenz von 77 ± 11 S/min ohne eine Veränderung postoperativ mit 72 ± 14 S/min (n.s.). Präoperativ zeigten 23/24 Patienten und postoperativ 19/24 Patienten eine Herzfrequenz zwischen 60 und 100 S/min.

Unter Belastung (n=23) betrug die Herzfrequenz präoperativ 111 ± 16 S/min, die sich postoperativ mit 107 ± 16 S/min nicht änderte (n.s.). Präoperativ lagen 17/23 Patienten und postoperativ 19/23 Patienten mit der Herzfrequenz unter 120 S/min (Abb. 43).

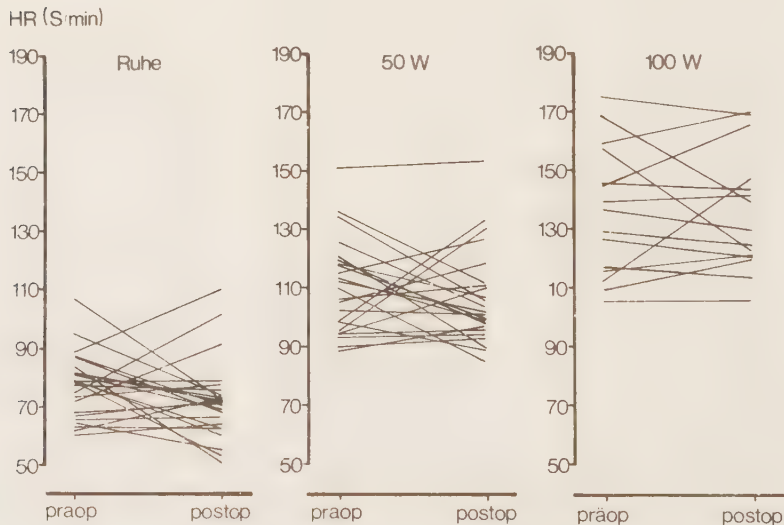


Abb. 43: Herzfrequenz prä- und postoperativ in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler Auswurffrac tion.

4.5.11. Blutdruck (n=24):

Präoperativ betrug in Ruhe der Blutdruck systolisch 150 ± 24 mmHg und diastolisch 64 ± 12 mmHg. Postoperativ war eine Abnahme des systolischen Blutdrucks auf 137 ± 18 mmHg zu beobachten ($p < 0,01$), während der diastolische Blutdruck auf 85 ± 13 mmHg anstieg ($p < 0,001$). Der systolische Blutdruck lag präoperativ bei 9/24 Patienten und postoperativ bei 11/24 Patienten unter 140 mmHg. 10/24 Patienten wiesen präoperativ und 14/24 Patienten postoperativ einen diastolischen Blutdruck zwischen 70 und 90 mmHg auf.

Unter Belastung (n=23) ergab sich präoperativ ein Blutdruck systolisch von 185 ± 22 mmHg und diastolisch von 79 ± 19 mmHg. Nach Aortenklappenersatz zeigte sich eine Abnahme des systolischen Blutdrucks auf 160 ± 21 mmHg ($p < 0,001$) mit einer Zunahme des diastolischen Blutdrucks auf 94 ± 13 mmHg ($p < 0,001$). Präoperativ lagen 11/23 Patienten und postoperativ 20/23 Patienten mit dem systolischen Blutdruck unter 190 mmHg. 16/23 Patienten wiesen präoperativ und 13/23 Patienten postoperativ einen diastolischen Blutdruck zwischen 70 und 90 mmHg auf (Abb. 44).

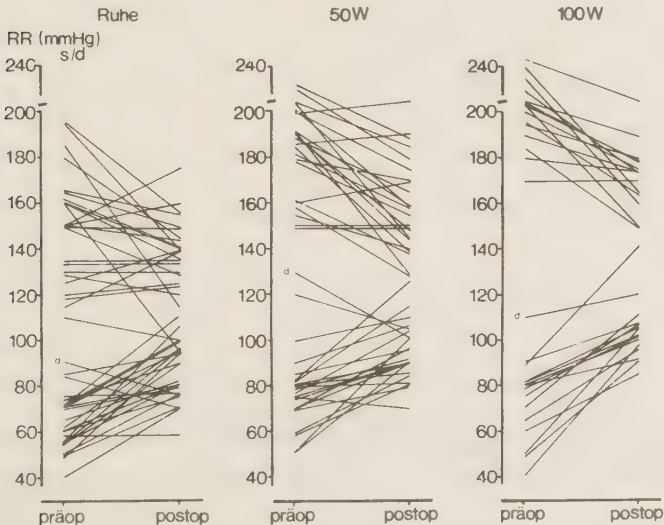


Abb. 44: Blutdruck systolisch und diastolisch prä- und postoperativ in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler Auswurffrac tion.

4.5.12. New-York-Heart-Association-Klassifikation (n=24): Präoperativ betrug die NYHA-Klassifikation $2,1 \pm 0,9$, die postoperativ auf $1,1 \pm 0,5$ eine Zunahme zeigte ($p < 0,001$). Präoperativ lagen jeweils 7/24 Patienten in den Klassen I und II, 4/24 Patienten in der Klasse II - III, 5/24 Patienten in der Klasse III und 1/24 Patienten befand sich in Klasse IV. Postoperativ wiesen 22/24 Patienten eine NYHA-Klassifikation der Gruppe I auf, und nur jeweils 1/24 Patienten lagen in der Klasse II bzw. III (Abb. 45).

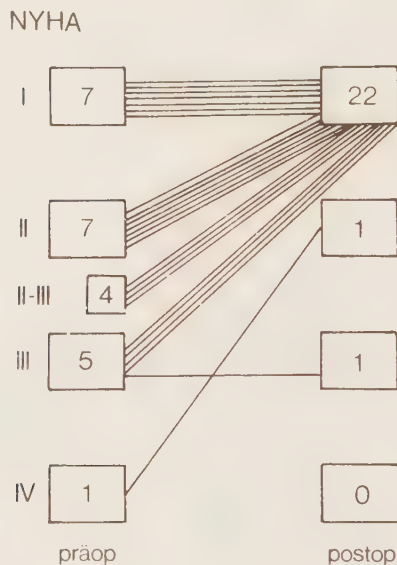


Abb. 45: New-York-Heart-Association-Klassifikation prä- und postoperativ bei Patienten mit postoperativ normaler Auswurf fraktion.

4.6. Prä- und postoperative Veränderungen von Ventrikel- funktion und Hämodynamik in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ pathologischem Verhalten der Auswurffraktion

Die bei den individuellen Patienten erhobenen Daten sind in
den Tabellen 14, 15, 18 und 19 zusammengestellt. Die Mit-
telwerte der untersuchten Parameter in Ruhe und unter Bela-
stung sind aus den Tabellen 22 und 23 ersichtlich.

	EF (%) (n=13)		EF (%) (n=13)		EFpl (%) (n=11)		EFpl (%) (n=10)		EFai (%) (n=11)		EFai (%) (n=10)	
	R _v	R _s	B _v	B _s	R _v	R _s	B _v	B _s	R _v	R _s	B _v	B _s
MW	31	35	26	32	42	56	40	62	35	43	30	42
[†] 1SD	9	14	8	15	14	22	11	16	15	20	11	19
Sign.	n.s.		p<0.05		p<0.025		p<0.001		p<0.05		p<0.025	

	EFas (%) (n=11)		EFas (%) (n=10)		PER (1/s) (n=10)		PER (1/s) (n=9)		PFR (1/s) (n=11)		PFR (1/s) (n=10)	
	R _v	R _s	B _v	B _s	R _v	R _s	B _v	B _s	R _v	R _s	B _v	B _s
	34	32	27	27	2.42	3.22	2.74	3.73	1.89	2.41	2.98	5.29
	8	17	9	14	0.51	1.30	1.45	1.66	0.50	1.21	1.6	3.20
	n.s.		n.s.		p<0.05		n.s.		n.s.		p<0.05	

Tab. 22: Prä- und postoperativ ermittelte Parameter in Ruhe
und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ patholo-
gischer Auswurffraktion.

Globale Auswurffraktion (EF), regionale Auswurffraktion im
posterolateralen (EF_{pl}), apikoinferioren (EF_{ai}) sowie
anteroseptalen (EF_{as}) Bereich, maximale Entleerungsrate
(PER), maximale Füllungsrate (PFR), Patientenzahl (n), Ruhe
(R), Belastung (B), vor Operation (v), spätpostoperativ
(s), Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD).

4.6.1. Globale Auswurffrac tion (n=13):

Präoperativ betrug in Ruhe die linksventrikuläre Auswurf-
fraktion $31 \pm 9\%$, die postoperativ mit $35 \pm 14\%$ keine
wesentliche Veränderung aufwies (n.s.). Bei 7/13 Patienten
war postoperativ die Auswurffrac tion nicht wesentlich ver-
ändert, d.h. in einem Bereich von 5%. 5/13 Patienten zeig-
ten eine Zunahme der Auswurffrac tion um mehr als 5%, und
bei lediglich 1/13 Patienten fand sich eine Abnahme der
Auswurffrac tion über 5%. Weder prä- noch postoperativ lagen
die Patienten mit ihrer Auswurffrac tion im Normbereich.

Unter Belastung (n=13) fand sich präoperativ ein Wert für
die Auswurffrac tion von $26 \pm 7\%$, die mit $32 \pm 15\%$ postope-
rativ zunahm ($p < 0,05$). Nach Aortenklappenersatz waren
6/13 Patienten mit der Auswurffrac tion über 5% angestiegen;
5/13 Patienten zeigten ein weitgehend konstantes Verhalten,
d.h. Veränderungen im Bereich von 5%, und lediglich 2/13
Patienten wiesen eine Abnahme um mehr als 5% auf. Weder
prä- noch postoperativ lagen die Patienten mit der Auswurf-
frac tion im Normbereich (Abb. 46).

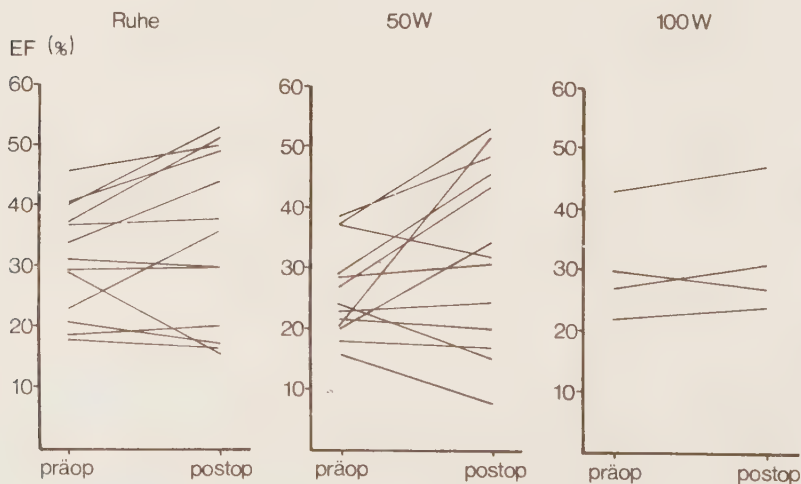


Abb. 46: Prä- und postoperative Auswurffrac tion in Ruhe und
unter Belastung bei Patienten mit postoperativ patholo-
gischer Auswurffrac tion.

4.6.2. Regionale Auswurffrac-tion - posterolateraler Bereich (n=11):

In Ruhe betrug präoperativ die posterolaterale Auswurf-
fraktion $42 \pm 14\%$ mit einer Zunahme postoperativ auf $56 \pm 22\%$ ($p < 0,025$). Postoperativ fand sich bei 7/11 Patienten
eine Zunahme der posterolateralen Auswurffrac-tion um mehr
als 5%; 3/11 Patienten wiesen geringe Schwankungen auf,
d.h. in einem Bereich von 5%, und lediglich 1/11 Patienten
wies eine Abnahme über 5% auf. Präoperativ lagen keine Pa-
tienten und postoperativ 5/11 Patienten mit der postero-
lateralen Auswurffrac-tion über 66%.

Unter Belastung (n=10) ergab sich für die regionale Aus-
wurffrac-tion präoperativ ein Wert von $40 \pm 11\%$ mit einer
Zunahme auf $62 \pm 16\%$ postoperativ ($p < 0,001$). Nach Aorten-
klappenersatz zeigten 9/10 Patienten eine Zunahme der
posterolateralen Auswurffrac-tion über 5%, und lediglich
1/10 Patienten wies ein weitgehend konstantes Verhalten
dieser regionalen Auswurffrac-tion auf, d.h. mit einem
Schwankungsbereich von 5%. Präoperativ lagen keine Patien-
ten und postoperativ 6/10 Patienten mit dieser regionalen
Auswurffrac-tion über 66% (Abb. 47).

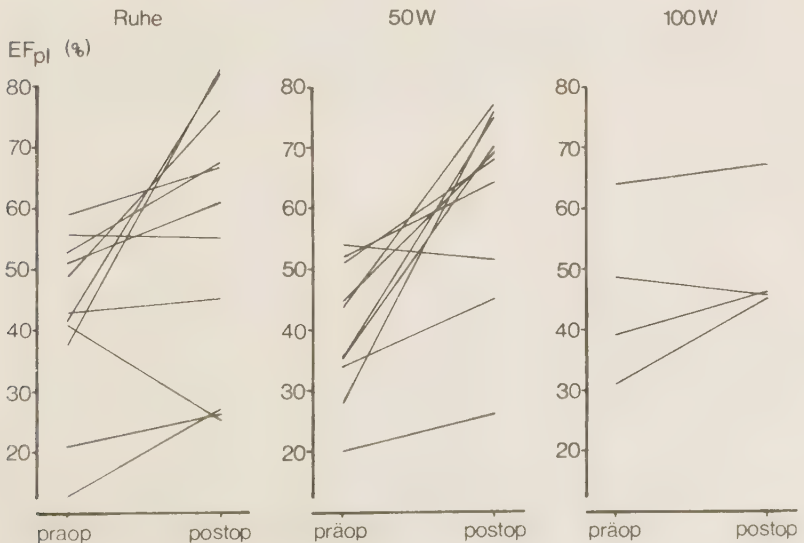


Abb. 47

Abb. 47: Posterolaterale Auswurffraktion prä- und postoperativ in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ pathologischer Auswurffraktion.

4.6.3. Regionale Auswurffraktion - apikoinferiorer Bereich (n=11):

Präoperativ betrug in Ruhe die apikoinferiore Auswurffraktion $35 \pm 15\%$ mit einer Zunahme postoperativ auf $43 \pm 20\%$ ($p < 0,05$). Nach Aortenklappenersatz waren 6/11 Patienten mit der apikoinferioren Auswurffraktion über 5% angestiegen, 3/11 Patienten wiesen nur geringe Schwankungen dieser regionalen Auswurffraktion auf, d.h. in einem Bereich von 5%, und 2/11 Patienten zeigten eine Abnahme um mehr als 5%. Weder prä- noch postoperativ lagen Patienten mit der apikoinferioren Auswurffraktion im Normbereich.

Unter Belastung (n=10) ergab sich präoperativ ein Wert von $30 \pm 11\%$ mit einer Zunahme postoperativ auf $42 \pm 18\%$ ($p < 0,025$). Postoperativ waren 7/10 Patienten mit der apikoinferioren Auswurffraktion über 5% angestiegen; 2/10 Patienten zeigten nur geringe Schwankungen, d.h. innerhalb 5%, und lediglich 1/10 Patienten wies eine Abnahme um mehr als 5% auf. Weder prä- noch postoperativ lagen die Patienten mit der apikoinferioren Auswurffraktion unter Belastung über 70% (Abb. 48).

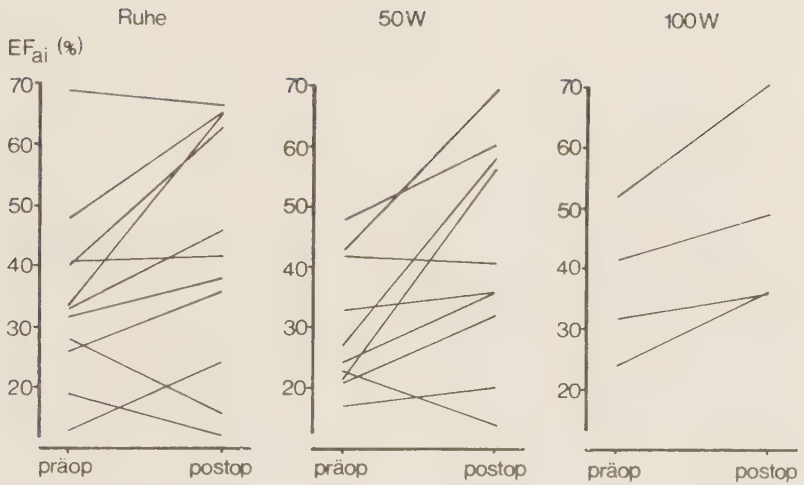


Abb. 48: Apikoinferiore Auswurffrac-tion prä- und postopera-tiv in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postope-rativ pathologischer Auswurffrac-tion.

4.6.4. Regionale Auswurffrac-tion - anteroseptaler Bereich (n=11):

Präoperativ betrug in Ruhe die anteroseptale Auswurffrac-tion $34 \pm 8\%$, die postoperativ mit $32 \pm 17\%$ keine wesent-liche Änderung erfuhr (n.s.). Postoperativ zeigten 4/11 Pa-tienten nur geringe Schwankungen der anteroseptalen Aus-wurffrac-tion, d.h. in einem Bereich von 5%; 4/11 Patienten wiesen eine Abnahme von über 5% auf und 3/11 Patienten eine Zunahme über 5%. Präoperativ lag kein Patient und postoperativ 1/11 Patienten mit der anteroseptalen Auswurf-frac-tion über 50%.

Unter Belastung (n=10) betrug präoperativ die anteroseptale Auswurffrac-tion $27 \pm 9\%$, die sich mit $27 \pm 14\%$ postoperativ nicht veränderte (n.s.). 3/10 Patienten wiesen ein konstan-tes Verhalten der anteroseptalen Auswurffrac-tion auf, d.h. innerhalb von 5%, 4/10 Patienten eine Abnahme über 5% und 3/10 Patienten eine Zunahme über 5%. Weder prä- noch post-operativ lagen die Patienten mit dieser regionalen Auswurf-frac-tion über 50% (Abb. 49).

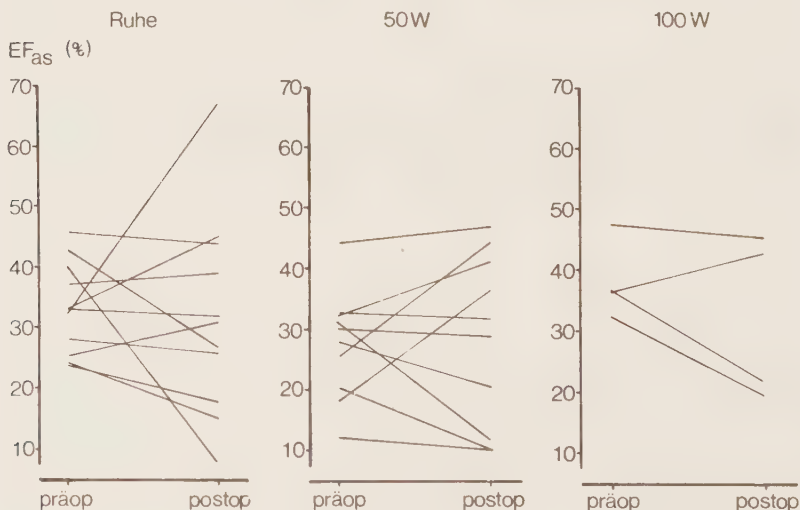


Abb. 49: Anteroseptale Auswurffrac-tion prä- und postopera-tiv in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postope-rativ pathologischer Auswurffrac-tion.

4.6.5. Maximale Entleerungsrate (n=10):

Präoperativ betrug in Ruhe die maximale Entleerungsrate $2,42 \pm 0,51 \text{ sec}^{-1}$, die postoperativ auf $3,22 \pm 1,3 \text{ sec}^{-1}$ zunahm ($p < 0,05$). Dabei war bei 5/10 Patienten eine Zunahme der maximalen Entleerungsrate um mehr als $0,5 \text{ sec}^{-1}$ zu beobachten; 2/10 Patienten zeigten einen Abfall um mehr als $0,5 \text{ sec}^{-1}$, und 3/10 Patienten wiesen nur geringe Schwankungen auf, d.h. in einem Bereich von $0,5 \text{ sec}^{-1}$.

Unter Belastung (n=9) betrug präoperativ die maximale Entleerungsrate $2,74 \pm 1,45 \text{ sec}^{-1}$ ohne wesentliche Veränderung postoperativ mit $3,37 \pm 1,66 \text{ sec}^{-1}$ (n.s.). 4/9 Patienten wiesen nur geringe Schwankungen auf, d.h. in einem Bereich von $0,5 \text{ sec}^{-1}$; 4/9 Patienten nahmen mit der maximalen Entleerungsrate um mehr als $0,5 \text{ sec}^{-1}$ zu, und lediglich 1/9 Patienten zeigte eine Abnahme um mehr als $0,5 \text{ sec}^{-1}$ (Abb. 50).

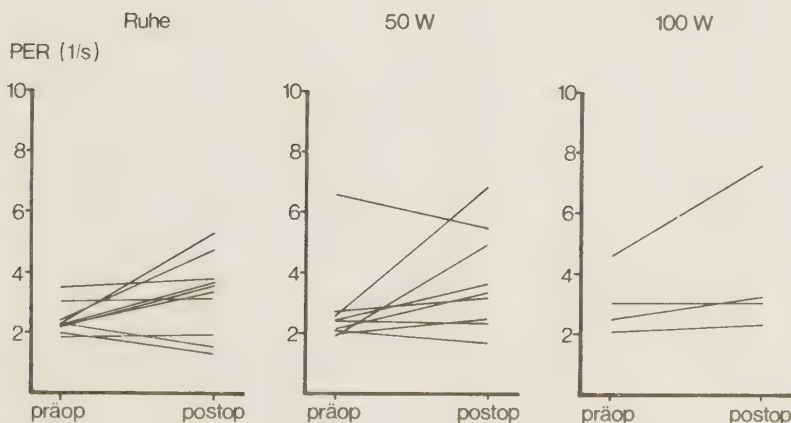


Abb. 50: Maximale Entleerungsrate prä- und postoperativ in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ pathologischer Auswurf fraktion.

4.6.6. Maximale Füllungsrate (n=11):

Präoperativ betrug in Ruhe die maximale Entleerungsrate $1,89 \pm 0,5 \text{ sec}^{-1}$, die postoperativ mit $2,41 \pm 1,21 \text{ sec}^{-1}$ keine wesentliche Änderung erfuhr (n.s.). 3/11 Patienten zeigten nur geringe Schwankungen, d.h. innerhalb $0,5 \text{ sec}^{-1}$, 5/11 Patienten einen Anstieg über $0,5 \text{ sec}^{-1}$ und 3/11 Patienten eine Abnahme über $0,5 \text{ sec}^{-1}$.

Unter Belastung (n=10) lag präoperativ die maximale Füllungsrate bei $2,98 \pm 1,6 \text{ sec}^{-1}$ mit einer Zunahme postoperativ auf $5,29 \pm 3,2 \text{ sec}^{-1}$ ($p < 0,05$). Postoperativ nahmen 7/10 Patienten mit der maximalen Füllungsrate um mehr als $0,5 \text{ sec}^{-1}$ zu; 2/10 Patienten wiesen eine Abnahme um mehr als $0,5 \text{ sec}^{-1}$ auf, und 1/10 Patienten zeigte nur geringe Veränderungen, d.h. in einem Bereich von $0,5 \text{ sec}^{-1}$ (Abb. 51).

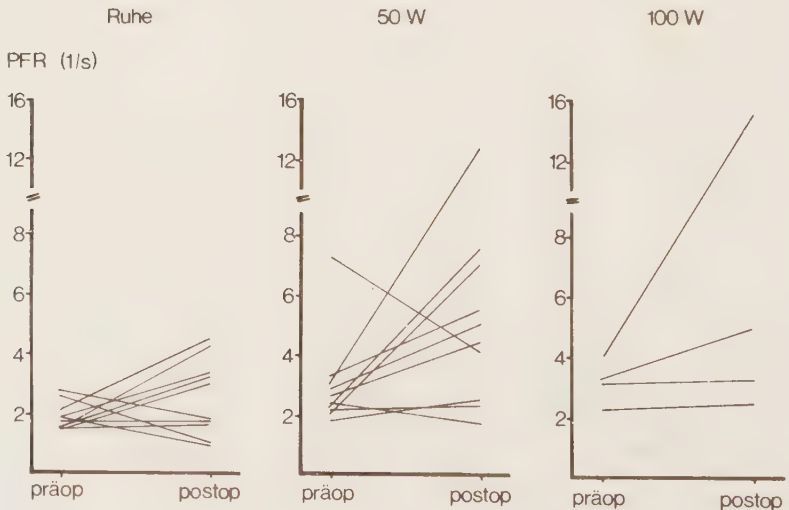


Abb. 51: Maximale Füllungsrate prä- und postoperativ in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ pathologischer Auswurffraktion.

PAP (mmHg) (n=13)			PAP (mmHg) (n=13)			Co (l/min) (n=13)		Co (l/min) (n=11)		O ₂ Sat (%) 2(n=9)	
R _v	R _s		B _v	B _s		R _v	R _s	B _v	B _s	R _v	R _s
s/d/m	s/d/m		s/d/m	s/d/m		s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
MW	44/21/32	24/9/15	75/36/53	54/24/36		5.0	5.5	8.5	9.9	59	66
+1SD	20/13/15	8/4/4	17/8/11	12/9/9		1.0	1.3	2.3	1.7	7	3
PAP _s : p<0.001			PAP _s : p<0.001								
Sign. PAP _d : p<0.005			PAP _d : p<0.001			n.s.		p<0.05		p<0.01	
PAP _m : p<0.001			PAP _m : p<0.001								

O ₂ Sat (%) 2(n=9)		HR (S/min) (n=13)		HR (S/min) (n=13)		RR (mmHg) (n=13)		RR (mmHg) (n=12)		NYHA (n=13)	
B _v	B _s	R _v	R _s	B _v	B _s	R _v	R _s	B _v	B _s	B _v	B _s
s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
44	47	84	74	117	112	140/75	140/90	167/86	170/100	3,0	1,1
7	8	17	10	17	26	17/13	21/12	22/15	27/8	1,2	0,3
n.s.		p<0.005		n.s.		RR _s n.s. RR _d :p<0.001		RR _s n.s. RR _d :p<0.005		p<0.001	

Tab. 23: Prä- und postoperativ ermittelte Parameter in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ pathologischer Auswurffrac tion.

Pulmonalarteriendruck (PAP), Herzminutenvolumen (Co), Sauerstoffsättigung (O₂Sat), Herzfrequenz (HR), Blutdruck (RR), New-York-Heart-Association-Klassifikation (NYHA), Patientenzahl (n), Ruhe (R), Belastung (B), vor Operation (v), spätpostoperativ (s), systolisch, diastolisch, mittel (s/d/m), Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD).

4.6.7. Pulmonalarteriendruck (n=13):

Präoperativ betrug in Ruhe der Pulmonalarteriendruck systolisch 44 ± 20 mmHg, diastolisch 21 ± 13 mmHg und im Mittel 32 ± 15 mmHg. Postoperativ war eine Abnahme des Pulmo-

nalarteriendrucks systolisch auf 24 ± 8 mmHg ($p < 0,001$), diastolisch auf 9 ± 4 mmHg ($p < 0,005$) und im Mittel auf 15 ± 4 mmHg ($p < 0,001$) zu verzeichnen. Präoperativ lagen 6/13 Patienten und postoperativ 11/13 Patienten mit dem mittleren Pulmonalarteriendruck im Normbereich.

Unter Belastung ($n=13$) lag präoperativ der Pulmonalarteriendruck systolisch bei 75 ± 17 mmHg, diastolisch bei 36 ± 8 mmHg und im Mittel bei 53 ± 11 mmHg. Postoperativ war eine Abnahme des Pulmonalarteriendrucks systolisch auf 54 ± 12 mmHg ($p < 0,001$), diastolisch auf 24 ± 9 mmHg ($p < 0,001$) und im Mittel auf 36 ± 9 mmHg ($p < 0,001$) zu verzeichnen.

Präoperativ wiesen keine Patienten und postoperativ 5/13 Patienten normale Werte für den mittleren Pulmonalarteriendruck auf (Abb. 52).

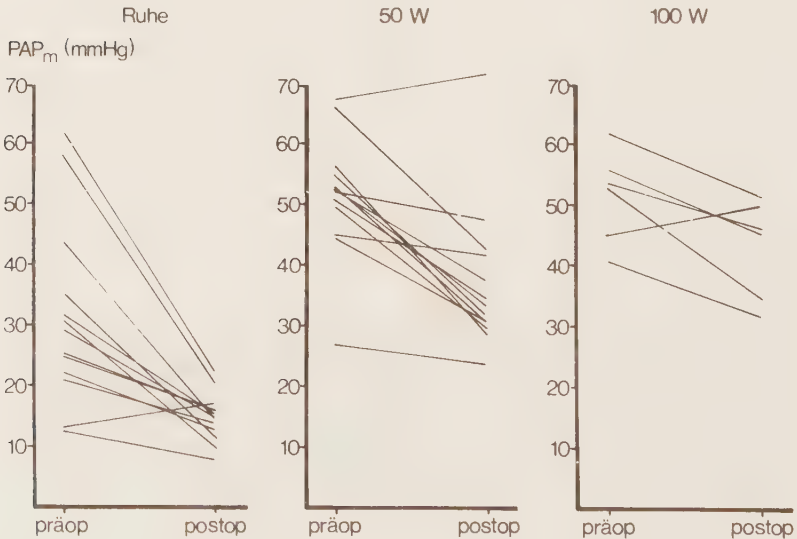


Abb. 52: Mittlerer Pulmonalarteriendruck prä- und postoperativ in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ pathologischer Auswurf fraktion.

4.6.8. Herzminutenvolumen (n=13):

Präoperativ betrug in Ruhe das Herzminutenvolumen $5,0 \pm 1,0$ l/min, welches sich mit $5,5 \pm 1,3$ l/min postoperativ nicht wesentlich änderte (n.s.). Präoperativ zeigten 10/13 Patienten und postoperativ 11/13 Patienten normale Werte für das Herzminutenvolumen in Ruhe.

Unter Belastung (n=11) ergab sich präoperativ ein Herzminutenvolumen von $8,5 \pm 2,3$ l/min mit einer Zunahme postoperativ auf $9,9 \pm 1,7$ l/min ($p < 0,05$). Präoperativ lagen 4/11 Patienten und postoperativ 9/11 Patienten mit dem Herzminutenvolumen unter Belastung im Normbereich (Abb. 53).

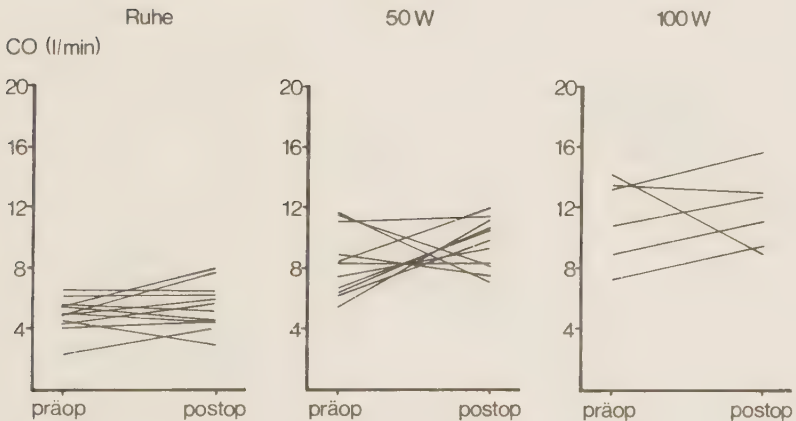


Abb. 53: Herzminutenvolumen prä- und postoperativ in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ pathologischer Auswurffrac tion.

4.6.9. Sauerstoffsättigung in der Art. pulmonalis (n=9):

In Ruhe betrug die Sauerstoffsättigung präoperativ $59 \pm 7\%$ mit einer Zunahme postoperativ auf $66 \pm 3\%$ ($p < 0,01$). Dabei lagen präoperativ 5/9 Patienten und postoperativ 9/9 Patienten mit der Sauerstoffsättigung über 60%.

Unter Belastung (n=9) ergab sich eine Sauerstoffsättigung präoperativ von $44 \pm 7\%$, die mit $47 \pm 8\%$ postoperativ keine Änderung erfuhr (n.s.). Präoperativ zeigten 6/9 Patienten und postoperativ 8/9 Patienten eine Sauerstoffsättigung über 40% (Abb. 54).

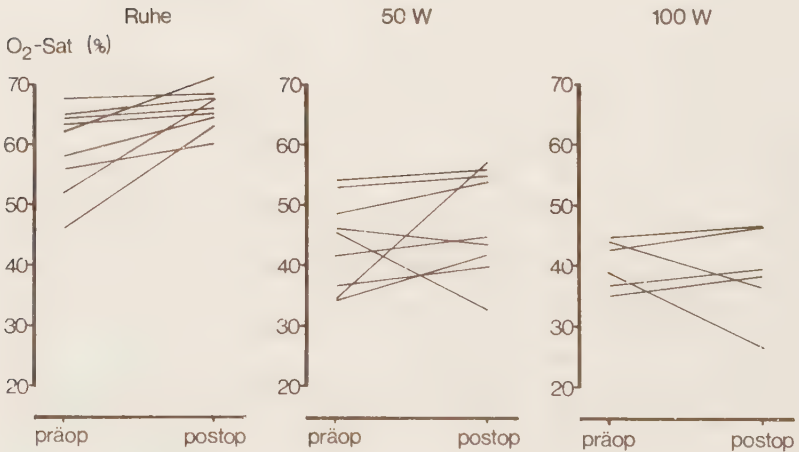


Abb. 54: Sauerstoffsättigung prä- und postoperativ in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ pathologischer Auswurffraktion.

4.6.10. Herzfrequenz (n=13):

Präoperativ fand sich in Ruhe eine Herzfrequenz von 84 ± 17 S/min mit einer Abnahme postoperativ auf 74 ± 10 S/min ($p < 0,005$). Dabei lagen präoperativ 11/13 Patienten und postoperativ 13/13 Patienten mit der Herzfrequenz zwischen 60 und 100 S/min.

Unter Belastung (n=13) betrug präoperativ die Herzfrequenz 117 ± 17 S/min, die sich postoperativ mit 112 ± 26 S/min nicht wesentlich änderte (n.s.). Präoperativ wiesen 8/13 Patienten und postoperativ 9/13 Patienten eine Herzfrequenz unter 120 S/min auf (Abb. 55).

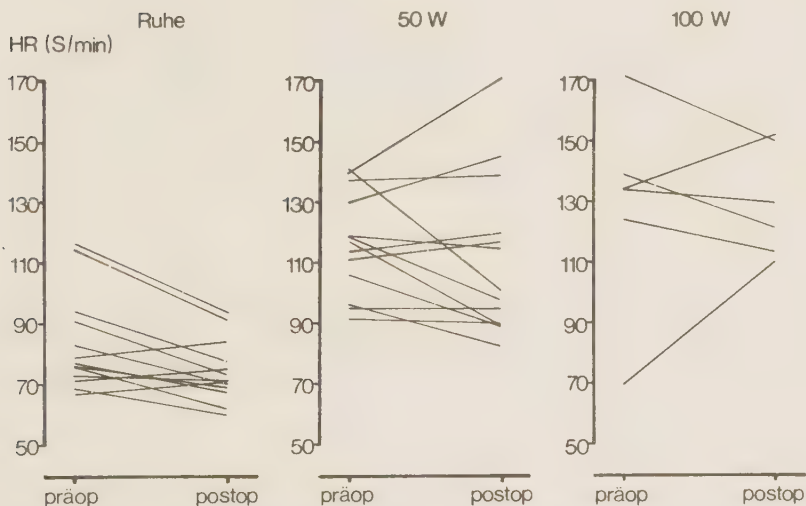


Abb. 55: Herzfrequenz prä- und postoperativ in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ pathologischer Auswurffrac tion.

4.6.11. Blutdruck (n=13):

In Ruhe betrug präoperativ der Blutdruck systolisch 140 ± 17 mmHg und diastolisch 75 ± 13 mmHg. Postoperativ fand sich keine Änderung des systolischen Blutdrucks mit 140 ± 21 mmHg (n.s.), während der diastolische Blutdruck auf 90 ± 12 mmHg zunahm ($p < 0,001$). Präoperativ lagen 4/13 Patienten und postoperativ 5/13 Patienten mit dem systolischen Blutdruck unter 140 mmHg. 8/13 Patienten wiesen präoperativ und 10/13 Patienten postoperativ einen diastolischen Blutdruck zwischen 70 und 90 mmHg auf.

Unter Belastung (n=12) ergab sich präoperativ ein Blutdruck systolisch von 167 ± 22 mmHg und diastolisch von 86 ± 15 mmHg. Postoperativ änderte sich der systolische Blutdruck mit 170 ± 27 mmHg nicht (n.s.), während der diastolische Blutdruck auf 100 ± 8 mmHg zunahm ($p < 0,005$). Präoperativ lagen 10/12 Patienten und postoperativ 9/12 Patienten mit dem systolischen Blutdruck unter 190 mmHg. 11/12 Patienten wiesen präoperativ und 2/12 Patienten postoperativ einen diastolischen Blutdruck zwischen 70 und 90 mmHg auf (Abb. 56).

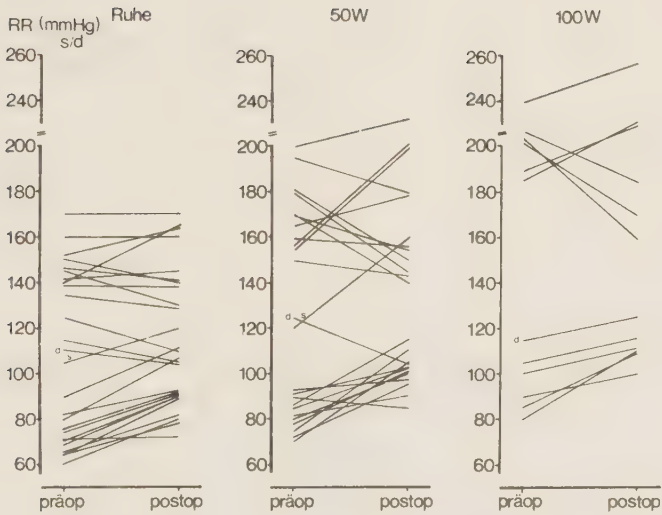


Abb. 56: Blutdruck systolisch und diastolisch in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ pathologischer Auswurfraction.

4.6.12. New-York-Heart-Association-Klassifikation (n=13): Präoperativ betrug im Mittel die NYHA-Klassifikation $3,0 \pm 1,2$ mit einer Zunahme postoperativ auf $1,1 \pm 0,3$ ($p < 0,001$). Präoperativ fanden sich 2/13 Patienten in der Klasse I, jeweils 1/13 Patienten in den Klassen II und III, 2/13 Patienten in der Klasse II - III und 7/13 Patienten in der Klasse IV. Postoperativ lagen 12/13 Patienten in der Klasse I, und nur 1/13 Patienten fand sich in der Klasse II (Abb. 57).

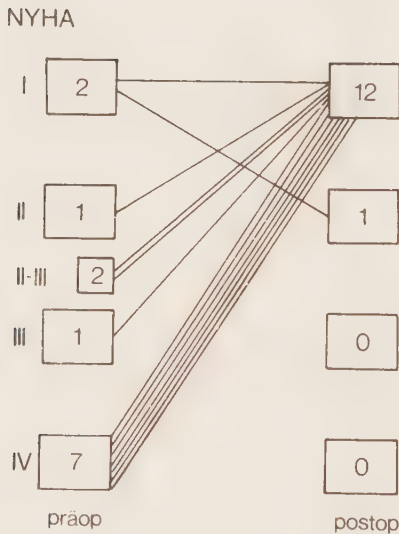


Abb. 57: New-York-Heart-Association-Klassifikation prä- und postoperativ bei Patienten mit postoperativ pathologischer Auswurf fraktion.

4.7. Untersuchungen über die Wertigkeit präoperativer Parameter für die Vorhersage der postoperativen Ventrikelfunktion

Von den in den Tab. 6, 7, 14, 15, sowie 28 - 39 zusammengestellten präoperativen Parametern zeigen diejenigen, die in Tab. 24 aufgeführt sind, zwischen Patienten mit postoperativ normaler und postoperativ eingeschränkter Ventrikelfunktion keinen signifikanten Unterschied. Signifikant unterschiedlich waren die Parameter, die aus Tab. 25 hervorgehen.

Parameter	Sign.
Alter	n.s.
HR _R	n.s.
HR _{50W}	n.s.
RR s _R	n.s.
RR d _{50W}	n.s.
LVP s	n.s.
MI	n.s.
Wanddicke	n.s.
CSA	n.s.

Tab. 24: Präoperative Parameter, die zwischen Patienten mit postoperativ normaler und postoperativ pathologischer Auswurf fraktion keine signifikanten Unterschiede aufweisen. Herzfrequenz (HR), Blutdruck (RR), linker Ventrikel (LVP), Masseindex (MI), myokardiale Querschnittsfläche (CSA), Ruhe (R), Belastung (50W), systolisch (s), diastolisch (d).

Parameter, die zur Vorhersage der postoperativen Ventrikelfunktion aufgrund ihrer Sensitivität, Spezifität und Treffsicherheit geeignet sind, lassen sich aus den Tabellen 26 und 27 entnehmen.

Parameter	Sign.	Parameter	Sign.
EF _R	p < 0,001	MNSER	p < 0,001
EF _{50W}	p < 0,001	ESP/ESVI	p < 0,001
EF _{max.B}	p < 0,001	PSP/ESVI	p < 0,001
EF _{pl R}	p < 0,001	PSWS/ESVI	p < 0,001
EF _{pl 50W}	p < 0,001	MSI	p < 0,001
EF _{ai R}	p < 0,001	CSI	p < 0,001
EF _{ai 50W}	p < 0,001	ESDI	p < 0,001
EF _{as R}	p < 0,001	FS	p < 0,001
EF _{as 50W}	p < 0,001	PER _{50W}	p < 0,01
PER	p < 0,001	PFR _R	p < 0,01
PAP _{s R}	p < 0,001	PFR _{50W}	p < 0,01
PAP _{d R}	p < 0,001	CO _{50W}	p < 0,01
PAP _{s 50W}	p < 0,001	O ₂ -Sat. _R	p < 0,01
PAP _{d 50W}	p < 0,001	RR _{d R}	p < 0,01
PAP _{m R}	p < 0,001	RR _{s 50W}	p < 0,01
PAP _{m 50W}	p < 0,001	PAP	p < 0,01
RVP _s	p < 0,001	RVP _d	p < 0,01
LVP _d	p < 0,001	LAP	p < 0,01
AoP _d	p < 0,001	CI _R	p < 0,01
SVR	p < 0,001	RV/EDV	p < 0,01
PVR	p < 0,001	PSWS	p < 0,01
PAR	p < 0,001	EDWS	p < 0,01
CI _{50W}	p < 0,001	V/M	p < 0,01
PAP _{max. B}	p < 0,001	ESWS/ESVI	p < 0,01
EDVI	p < 0,001	NYHA	p < 0,01
ESVI	p < 0,001	CO _R	p < 0,05
SVI	p < 0,001	O ₂ -Sat. _{50W}	p < 0,05
AVDO ₂	p < 0,001	AoP _s	p < 0,05
ESWS	p < 0,001	PEP/LVET	p < 0,05
PI	p < 0,001	EDDI	p < 0,05

Tab. 25: Präoperative Parameter, die zwischen Patienten mit postoperativ normaler und postoperativ pathologischer Auswurf fraktion signifikante Unterschiede aufweisen.

Parameter	Sensitivität	Spezifität	Treffericherheit	Predictive value pos. neg.	Grenzwert
EF _{50W}	13/13 $\hat{=}$ 100%	24/24 $\hat{=}$ 100%	37/37 $\hat{=}$ 100%	100% 100%	> 40%
EF _{pl R}	11/12 $\hat{=}$ 92%	23/24 $\hat{=}$ 96%	34/36 $\hat{=}$ 94%	92% 96%	> 56%
EF _{ai 50W}	10/11 $\hat{=}$ 91%	21/22 $\hat{=}$ 95%	31/33 $\hat{=}$ 94%	91% 95%	> 45%
EF _{as R}	12/12 $\hat{=}$ 100%	22/24 $\hat{=}$ 92%	34/36 $\hat{=}$ 94%	86% 100%	> 46,5%
EF _R	12/13 $\hat{=}$ 92%	22/24 $\hat{=}$ 92%	34/37 $\hat{=}$ 92%	86% 96%	> 45%
EF _{max.B}	12/13 $\hat{=}$ 92%	22/24 $\hat{=}$ 92%	34/37 $\hat{=}$ 92%	86% 96%	> 38%
EF _{ai R}	11/12 $\hat{=}$ 92%	22/24 $\hat{=}$ 92%	33/36 $\hat{=}$ 92%	85% 96%	> 51%
ESVI	12/13 $\hat{=}$ 92%	22/24 $\hat{=}$ 92%	34/37 $\hat{=}$ 92%	86% 96%	< 117 ml/m ²
MNSER	12/13 $\hat{=}$ 92%	21/24 $\hat{=}$ 88%	33/37 $\hat{=}$ 89%	80% 95%	> 1,27 1/s
EF _{as 50W}	10/11 $\hat{=}$ 91%	19/22 $\hat{=}$ 86%	29/33 $\hat{=}$ 88%	77% 95%	> 41%
ESDI	10/12 $\hat{=}$ 83%	19/21 $\hat{=}$ 90%	29/33 $\hat{=}$ 88%	83% 90%	< 29,5 mm/m ²
ESWS	10/13 $\hat{=}$ 77%	22/24 $\hat{=}$ 92%	32/37 $\hat{=}$ 86%	83% 88%	< 218 g/cm ²
EF _{pl 50W}	9/11 $\hat{=}$ 82%	19/22 $\hat{=}$ 86%	28/33 $\hat{=}$ 85%	75% 90%	> 51,5%
FS	10/12 $\hat{=}$ 83%	18/21 $\hat{=}$ 86%	28/33 $\hat{=}$ 85%	77% 90%	> 26%
EDVI	10/13 $\hat{=}$ 77%	21/24 $\hat{=}$ 88%	31/37 $\hat{=}$ 84%	77% 88%	< 195 ml/m ²
PAP _R	9/13 $\hat{=}$ 69%	22/24 $\hat{=}$ 92%	31/37 $\hat{=}$ 84%	82% 85%	< 24 mm Hg
PAP _{50W}	12/13 $\hat{=}$ 92%	18/24 $\hat{=}$ 75%	30/37 $\hat{=}$ 81%	67% 95%	< 43 mm Hg
V/M	10/13 $\hat{=}$ 77%	19/24 $\hat{=}$ 79%	29/37 $\hat{=}$ 78%	67% 86%	< 1,05
CI _{50W}	8/11 $\hat{=}$ 73%	19/24 $\hat{=}$ 79%	27/35 $\hat{=}$ 77%	62% 86%	> 5 l/min/m ²
EDWS	8/13 $\hat{=}$ 62%	19/24 $\hat{=}$ 79%	27/37 $\hat{=}$ 73%	62% 79%	< 98 g/cm ²
CI _R	11/13 $\hat{=}$ 85%	15/24 $\hat{=}$ 63%	26/37 $\hat{=}$ 70%	55% 88%	> 2,9 l/min/m ²
EDDI	8/12 $\hat{=}$ 67%	15/21 $\hat{=}$ 71%	23/33 $\hat{=}$ 70%	57% 79%	< 39,5 mm/m ²
NYHA	8/13 $\hat{=}$ 62%	18/24 $\hat{=}$ 75%	26/37 $\hat{=}$ 70%	57% 78%	< 3
PSWS	9/13 $\hat{=}$ 69%	16/24 $\hat{=}$ 67%	25/37 $\hat{=}$ 68%	53% 80%	< 453 g/cm ²

Tab. 26: Sensitivität, Spezifität, Treffericherheit, Predictive value positiv und negativ sowie Grenzwert bei den jeweiligen Parametern zur Vorhersagbarkeit der postoperativen Auswurfraction.

Parameter - kombinationen	Sensitivität	Spezifität	Treffer- sicherheit	Predictive value pos. neg.	Grenzwert
EF _{50W} , ESVI	13/13 $\hat{=}$ 100%	23/24 $\hat{=}$ 96%	36/37 $\hat{=}$ 97%	93% 100%	L = .31EF _{50W} - .03ESVI L > 8.69
EF _R , ESVI	12/13 $\hat{=}$ 92%	23/24 $\hat{=}$ 96%	35/37 $\hat{=}$ 95%	92% 96%	L = .37EF _R - .02ESVI L > 14.22
EF _{max.B} , ESVI	12/13 $\hat{=}$ 92%	23/24 $\hat{=}$ 96%	35 & 37 $\hat{=}$ 95%	92% 96%	L = .19EF _{max.B} - .04ESVI L > 2.19
MNSER, ESVI	12/13 $\hat{=}$ 92%	22/24 $\hat{=}$ 92%	34/37 $\hat{=}$ 92%	86% 96%	L = .4.93MNSER - .04ESVI L > 1.68
ESVI EDVI	12/13 $\hat{=}$ 92%	22/24 $\hat{=}$ 92%	34/37 $\hat{=}$ 92%	86% 96%	L = -.13ESVI + .07EDVI L > -2.4
PSWS ESVI	12/13 $\hat{=}$ 92%	22/24 $\hat{=}$ 92%	34/37 $\hat{=}$ 92%	86% 96%	L = -.004PSWS - .06ESVI L > -8.9
ESWS, ESVI	12/13 $\hat{=}$ 92%	22/24 $\hat{=}$ 92%	34/37 $\hat{=}$ 92%	86% 96%	L = -.12ESWS - .05ESVI L > -8.8
CI _{50W} , ESVI	10/11 $\hat{=}$ 91%	22/24 $\hat{=}$ 92%	32/35 $\hat{=}$ 91%	83% 96%	L = 1.65CI _{50W} - .06ESVI L > 1.68
ESWS ESDI	9/12 $\hat{=}$ 75%	21/21 $\hat{=}$ 100%	30/33 $\hat{=}$ 91%	100% 88%	L = -.02ESWS - .29ESDI L > -13.0
PSWS ESDI	9/12 $\hat{=}$ 75%	20/21 $\hat{=}$ 95%	29/33 $\hat{=}$ 88%	90% 87%	L = -.01PSWS - .33ESDI L > -14.5
ESDI, EDDI	10/12 $\hat{=}$ 83%	18/21 $\hat{=}$ 86%	28/33 $\hat{=}$ 85%	77% 90%	L = -1.5EDDI + 1.7ESDI L > 5.43
FS, ESDI	10/12 $\hat{=}$ 83%	18/21 $\hat{=}$ 86%	28/33 $\hat{=}$ 85%	77% 90%	L = 63.7FS + .08ESDI L > 18.9

Tab. 27: Sensitivität, Spezifität, Treffer-sicherheit, Predictive value positiv und negativ sowie Grenzwert bei den jeweiligen Kombinationen zur Vorhersagbarkeit der postoperativen Auswurf-fraktion.

4.7.1. Globale Auswurffraktion, mittlere normalisierte systolische Auswurfrate, prozentuale Faserverkürzung:

Die Auswurffraktion unter 50 Watt Belastung wies bei einer Grenze von 40% keine Mißklassifikationen auf. Es ergab sich somit eine Sensitivität, Spezifität und Treffsicherheit von jeweils 100%.

Die Auswurffraktion in Ruhe führte bei einer Grenze von 45% zu drei Mißklassifikationen. Sensitivität, Spezifität und Treffsicherheit betrugen dabei jeweils 92%. Ebenso verhielt sich die Auswurffraktion unter maximaler Belastung bei einer Grenze von 38%.

Die mittlere normalisierte systolische Auswurfrate wies bei einer Grenze über 1,27 l/sec vier Mißklassifikationen auf. Die Sensitivität lag bei 92%, die Spezifität bei 88% und die Treffsicherheit bei 89%.

Die prozentuale Faserverkürzung zeigte fünf Mißklassifikationen mit einer Grenze von 26%. Sie ging mit einer Sensitivität von 83%, einer Spezifität von 86% und einer Treffsicherheit von 85% einher (Abb. 58).

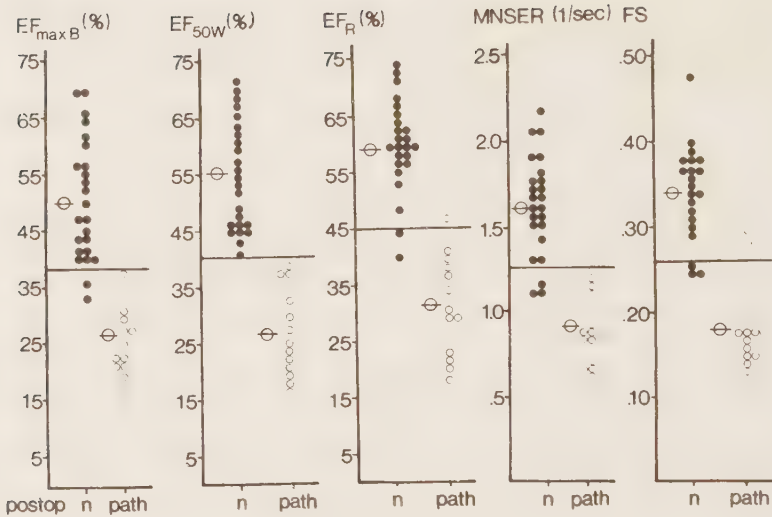


Abb. 58: Präoperative Auswurffraktion in Ruhe und unter Belastung, mittlere normalisierte systolische Auswurfrate sowie prozentuale Faserverkürzung bei postoperativ normaler und pathologischer Auswurffraktion.

4.7.2. Regionale Auswurffraktionen

Die Auswurffraktion im posterolateralen Bereich wies in Ruhe bei einer Grenze von 56% drei Mißklassifikationen auf. Es ergab sich eine Sensitivität von 92%, eine Spezifität von 96% und eine Treffsicherheit von 94%.

Unter einer Belastung mit 50 Watt und einer Grenze von 51,5% wurden fünf Patienten mißklassifiziert. Es fanden sich eine Sensitivität von 82%, eine Spezifität von 86% und eine Treffsicherheit von 85% (Abb. 59).

In Ruhe zeigte die apikoinferiore Auswurffraktion bei einer Grenze von 51% drei Mißklassifikationen. Sensitivität, Spezifität und Treffsicherheit betrugen jeweils 92%.

Unter 50 Watt Belastung wurden bei einer Grenze von 45% zwei Patienten mißklassifiziert. Dabei betrugen die Sensitivität 91%, die Spezifität 95% und die Treffsicherheit 94% (Abb. 59).

Die anteroseptale Auswurffraktion in Ruhe wies bei einer Grenze von 46,5% zwei Mißklassifikationen auf. Es fand sich eine Sensitivität von 100%, eine Spezifität von 92% und eine Treffsicherheit von 94%.

Unter Belastung mit 50 Watt und einer Grenze von 41% wurden vier Patienten mißklassifiziert. Die Sensitivität betrugen 91%, die Spezifität 86% und die Treffsicherheit 88% (Abb. 59).

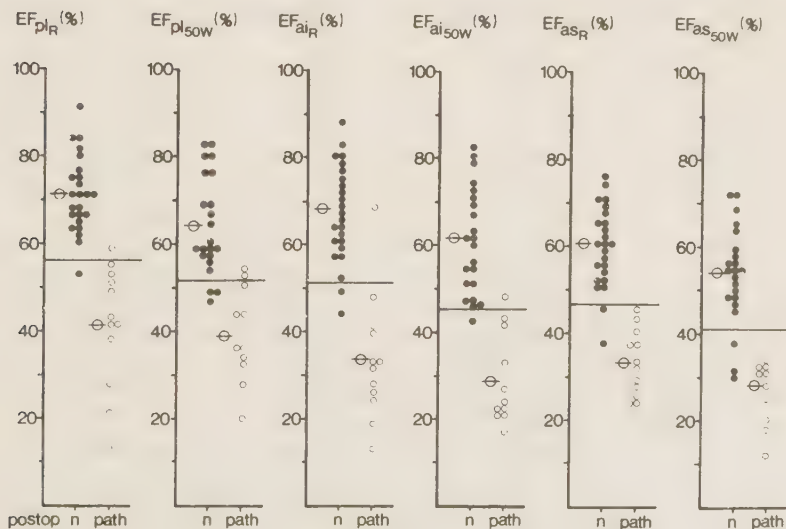


Abb. 59: Präoperative regionale Auswurffraktionen in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler und pathologischer Auswurffraktion.

4.7.3. Endsystolische und enddiastolische Volumina und Dimensionen:

Der endsystolische Volumenindex wies bei einer Grenze von 117 ml/m^2 drei Mißklassifikationen auf. Die Sensitivität, Spezifität und Treffsicherheit betrugen jeweils 92%.

Mit dem enddiastolischen Volumenindex wurden bei einer Grenze von 195 ml/m^2 sechs Patienten mißklassifiziert. Es ergab sich eine Sensitivität von 77%, eine Spezifität von 88% und eine Treffsicherheit von 84%.

Der endsystolische Diameterindex zeigte vier Mißklassifikationen bei einer Grenze von $29,5 \text{ mm/m}^2$. Es fanden sich eine Sensitivität von 83%, eine Spezifität von 90% und eine Treffsicherheit von 88%.

Der enddiastolische Diameterindex wies bei einer Grenze von $39,5 \text{ mm/m}^2$ zehn Mißklassifikationen auf. Es ergab sich somit eine Sensitivität von 67%, eine Spezifität von 71% und eine Treffsicherheit von 70% (Abb. 60).

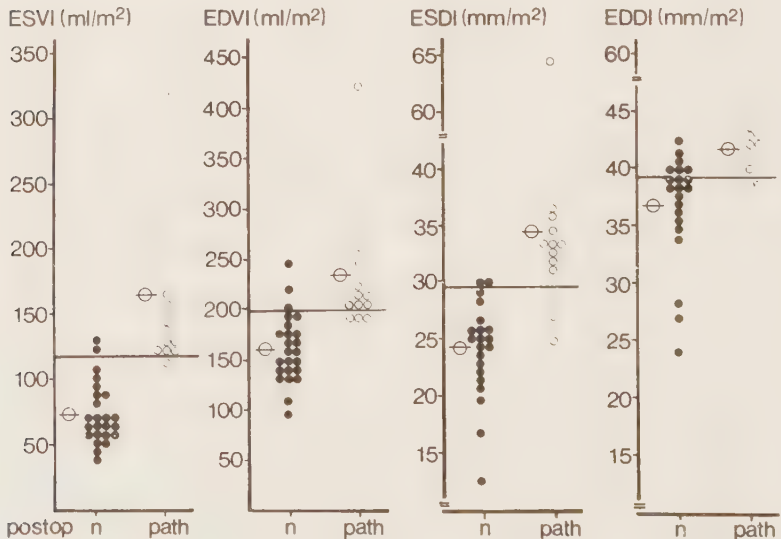


Abb. 60: Präoperative endsystolische und enddiastolische Volumina bzw. Dimensionen bei postoperativ normaler und pathologischer Auswurf fraktion.

4.7.4. Endsystolische, enddiastolische und spitzensystolische Wandspannung, Volumen-Masse-Quotient:

Die endsystolische Wandspannung wies bei einer Grenze von 218 g/cm^2 fünf Mißklassifikationen auf. Damit lagen eine Sensitivität von 77%, eine Spezifität von 92% und eine Treffsicherheit von 86% vor.

Die enddiastolische Wandspannung zeigte bei einer Grenze von 98 g/cm^2 zehn Mißklassifikationen. Es ergab sich eine Sensitivität von 62%, eine Spezifität von 79% und eine Treffsicherheit von 73%.

Die spitzensystolische Wandspannung führte bei einer Grenze von 453 g/cm^2 zu zwölf Mißklassifikationen. Die Sensitivität betrug 69%, die Spezifität 67% und die Treffsicherheit 68%.

Der Volumen-Masse-Quotient wies acht Mißklassifikationen auf bei einer Grenze von 1,05. Es ergab sich eine Sensitivität von 77%, eine Spezifität von 79% und eine Treffsicherheit von 78% (Abb. 61).

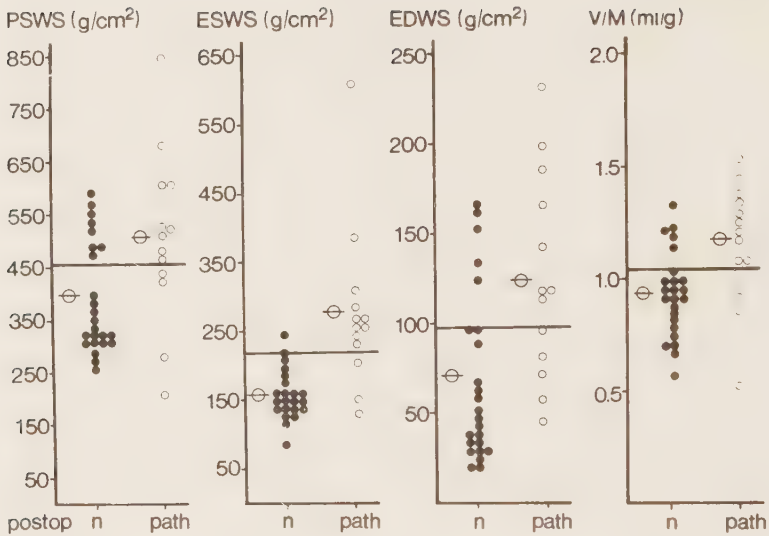


Abb. 61: Präoperative Wandspannung und Volumen-Masse-Quotient bei postoperativ normaler und pathologischer Auswurf-fraktion.

4.7.5. Pulmonalarteriendruck und Herzminutenvolumen in Ruhe und unter Belastung:

Der Pulmonalarteriendruck in Ruhe wies mit einer Grenze von 24 mmHg sechs Mißklassifikationen auf. Damit ergab sich eine Sensitivität von 69%, eine Spezifität von 92% und eine Treffsicherheit von 84%.

Der Pulmonalarteriendruck unter Belastung zeigte bei einer Grenze von 43 mmHg sieben Mißklassifikationen. Die Sensitivität betrug 92%, die Spezifität 75% und die Treffsicherheit 81% (Abb. 62).

Der Herzindex in Ruhe führte bei einer Grenze von $2,9 \text{ l/min/m}^2$ zu elf Mißklassifikationen. Somit fanden sich eine Sensivität von 85%, eine Spezifität von 63% und eine Treffsicherheit von 75%.

Der Herzindex unter Belastung wies bei einer Grenze von 5 l/min/m^2 acht Mißklassifikationen auf. Es ergab sich eine Sensivität von 73%, eine Spezifität von 79% und eine Treffsicherheit von 77% (Abb. 62).

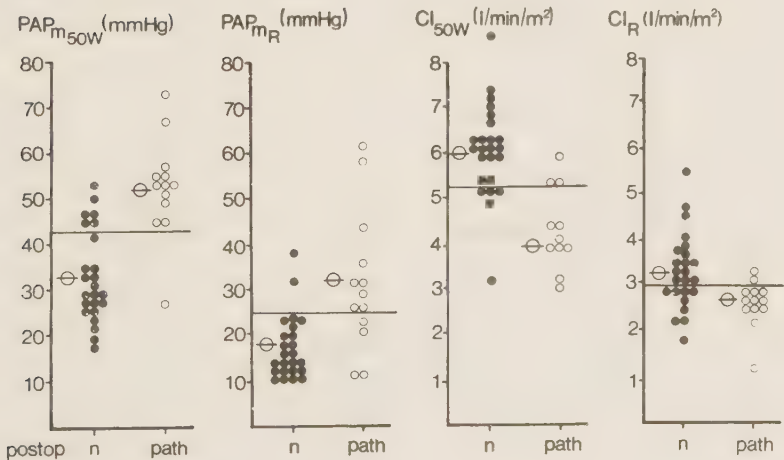


Abb. 62: Präoperativer Pulmonalarteriendruck und Herzindex in Ruhe und unter Belastung bei postoperativ normaler und pathologischer Auswurffrac tion.

4.7.6. New-York-Heart-Association-Klassifikation:

Die NYHA-Klassifikation führte bei einer Grenze <3 zu elf Mißklassifikationen. Dabei ergab sich eine Sensitivität von 62%, eine Spezifität von 75% und eine Treffsicherheit von 70% (Abb. 63).

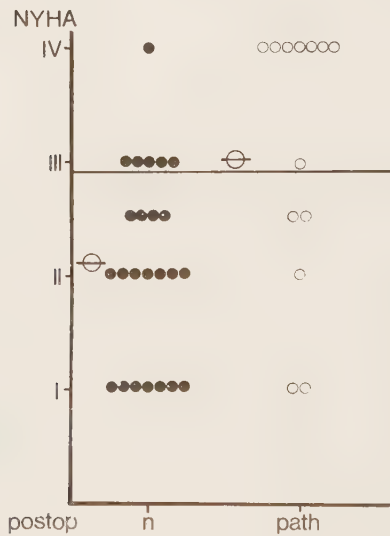


Abb. 63: Präoperativer New-York-Heart-Association-Klassifikation bei postoperativ normaler und pathologischer Auswurf fraktion.

4.7.7. Globale Auswurffracfraktion in Ruhe und unter Belastung in Kombination mit dem endsystolischen Volumen:

Mit Hilfe der Kombination von Auswurffracfraktion unter Belastung und endsystolischer Volumenindex wurde bei einer Grenze von $L=.31 EF_{50W} -.03 ESVI$ ein Patient mißklassifiziert. Die Sensitivität betrug 100%, die Spezifität 96% und die Treffsicherheit 97% (Abb. 64).

Die Kombination von Auswurffracfraktion in Ruhe und endsystolischer Volumenindex führte zu zwei Mißklassifikationen mit einer Grenze von $L=.37 EF_R -.02 ESVI$. Hierbei ergab sich eine Sensitivität von 92%, eine Spezifität von 96% und eine Treffsicherheit von 95% (Abb. 65). Ebenso verhielt sich die Auswurffracfraktion unter maximaler Belastung in Kombination mit dem endsystolischen Volumenindex bei einer Grenze von $L=.19 EF_{max.B} -.04 ESVI$ (Abb. 66).

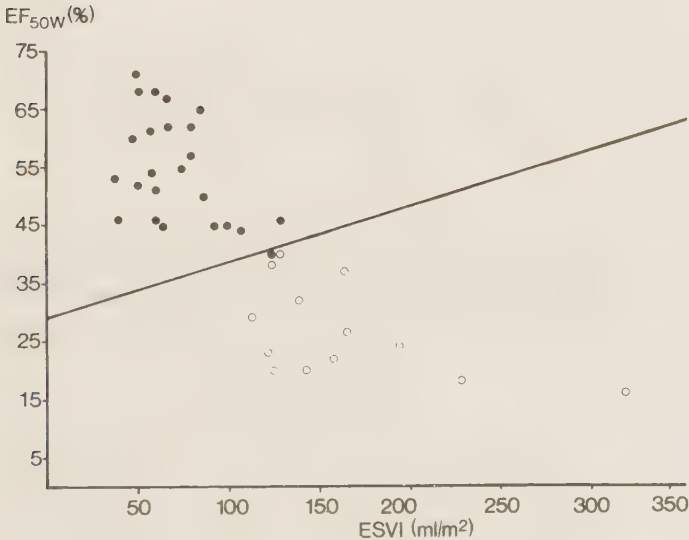


Abb. 64: Präoperative Auswurffracfraktion bei 50 Watt Belastung in Kombination mit dem endsystolischen Volumenindex bei postoperativ normaler und pathologischer Auswurffracfraktion.

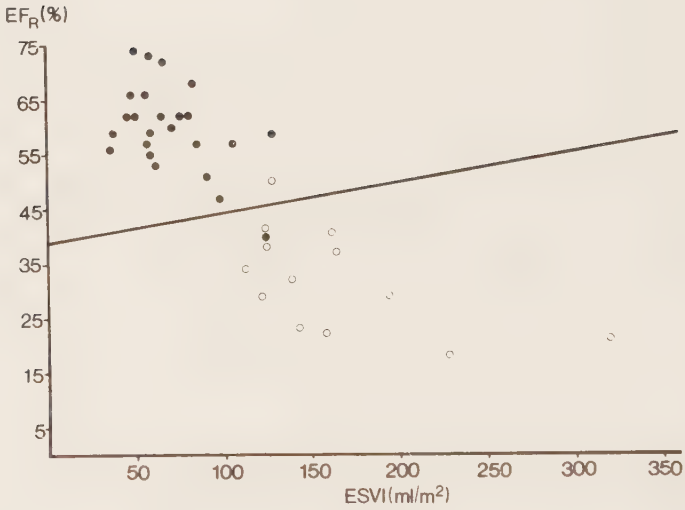


Abb. 65: Präoperative Auswurf fraktion in Ruhe in Kombination mit dem endsystolischen Volumenindex bei Patienten mit postoperativ normaler und pathologischer Auswurf fraktion.

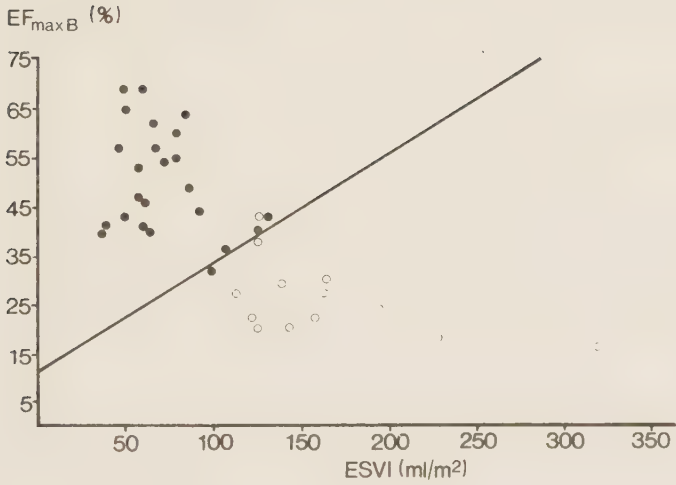


Abb. 66: Präoperative Auswurf fraktion unter maximaler Belastung in Kombination mit dem endsystolischen Volumenindex bei postoperativ normaler und pathologischer Auswurf fraktion.

4.7.8. Mittlere normalisierte systolische Auswurfrate in Kombination mit dem endsystolischen Volumen:

Diese Kombination führte bei einer Grenze von $L=4.93$ MNSER - .04 ESVI zu drei Mißklassifikationen. Es ergab sich eine Sensitivität, Spezifität und Treffsicherheit von jeweils 92% (Abb. 67).

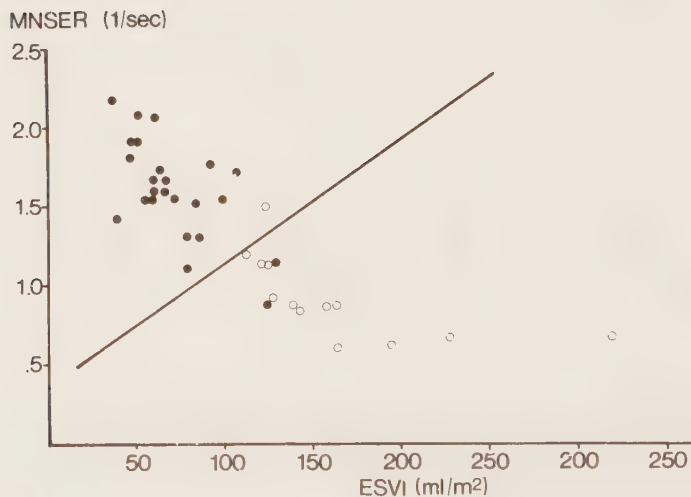
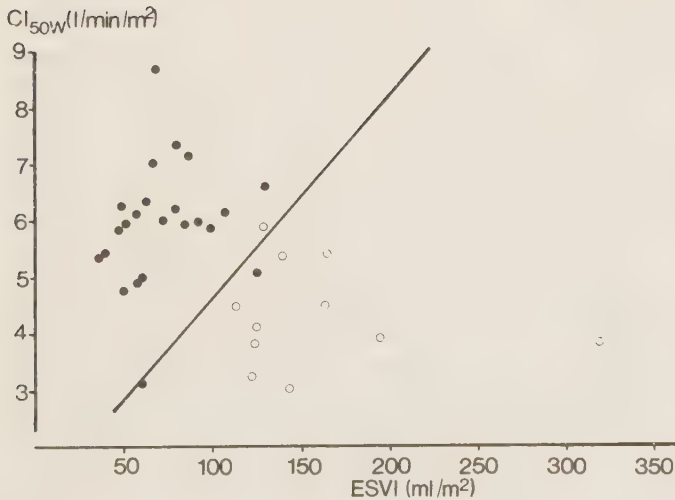


Abb. 67: Präoperative mittlere normalisierte systolische Auswurfrate in Kombination mit dem endsystolischen Volumenindex bei postoperativ normaler und pathologischer Auswurf fraktion.

4.7.9. Herzminutenvolumen unter 50 Watt Belastung in Kombination mit dem endsystolischen Volumen:

Diese Kombination führte bei einer Grenze von $L = 1.65$ $CI_{50W} - .06$ ESVI zu drei Mißklassifikationen. Es fand sich eine Sensitivität von 91%, eine Spezifität von 92% und eine Treffsicherheit von 91% (Abb. 68).



4.7.10. Enddiastolisches Volumen in Kombination mit dem endsystolischen Volumen:

Diese Kombination zeigte mit einer Grenze von $L = -.13 \text{ ESVI} + .07 \text{ EDVI}$ drei Mißklassifikationen. Die Sensitivität, Spezifität und Treffsicherheit betrug jeweils 92% (Abb. 69).

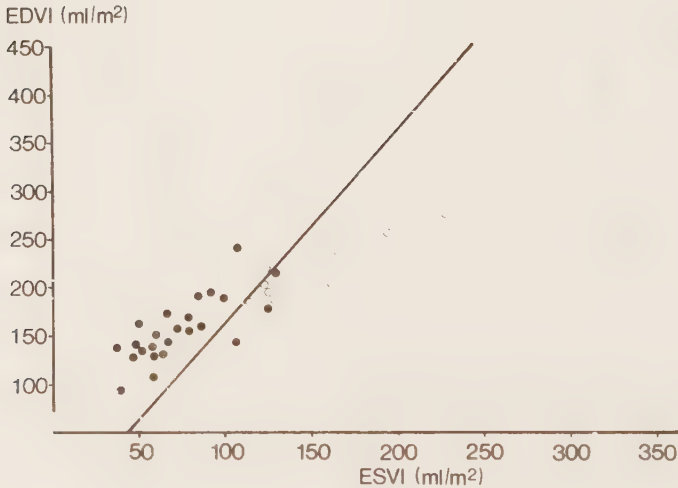


Abb. 69: Präoperativer enddiastolischer Volumenindex in Kombination mit dem endsystolischen Volumenindex bei postoperativ normaler und pathologischer Auswurf fraktion.

4.7.11. Endsystolische Wandspannung in Kombination mit dem endsystolischen Volumen:

Diese Kombination wies drei Mißklassifikationen auf bei einer Grenze von $L = -.12 \text{ ESWS} -.05 \text{ ESVI}$. Sensitivität, Spezifität und Treffsicherheit lagen jeweils bei 92% (Abb. 70).

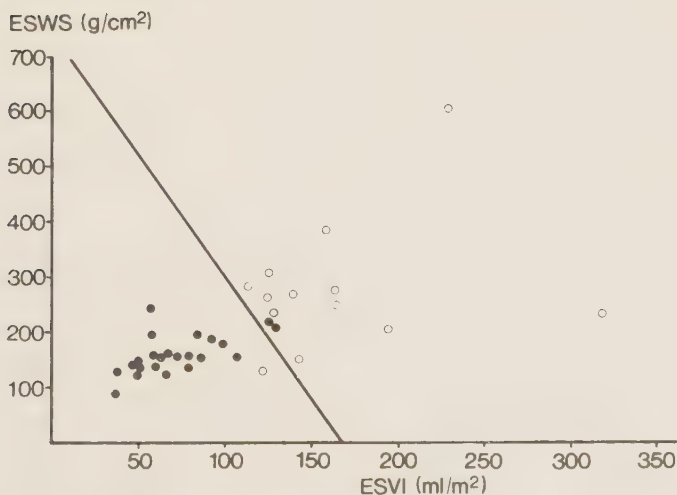


Abb. 70: Präoperative endsystolische Wandspannung in Kombination mit dem endsystolischen Volumenindex bei postoperativ normaler und pathologischer Auswurfraction.

4.7.12. Spitzensystolische Wandspannung in Kombination mit dem endsystolischen Volumen:

Diese Kombination führte zu drei Mißklassifikationen mit einer Grenze von $L = -.004 \text{ PSWS} - .06 \text{ ESVI}$. Sensitivität, Spezifität und Treffsicherheit betrugen jeweils 92% (Abb. 71).

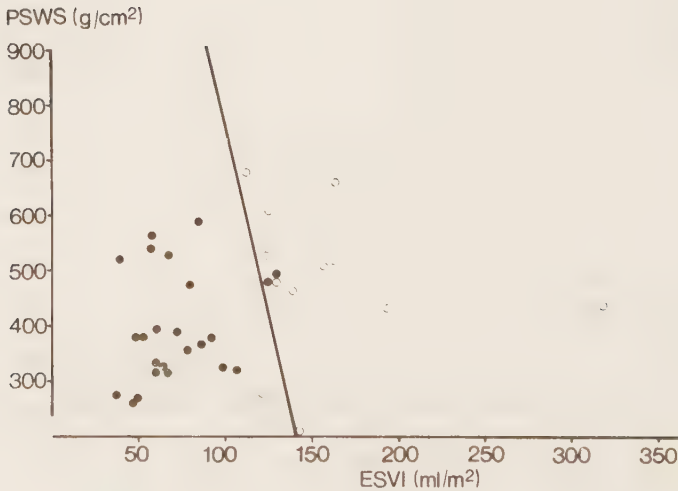
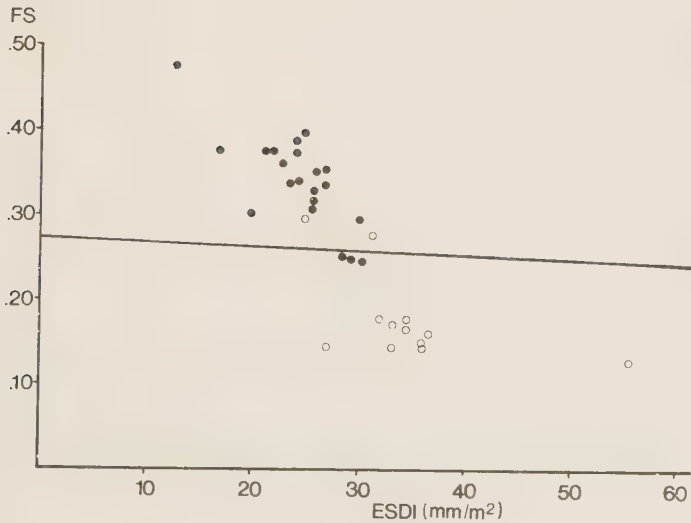


Abb. 71: Präoperative spitzensystolische Wandspannung in Kombination mit dem endsystolischen Volumenindex bei postoperativ normaler und pathologischer Auswurfraction.

4.7.13. Prozentuale Faserverkürzung in Kombination mit dem endsystolischen Diameter:

Bei einer Grenze von $L = 63.7 \text{ FS} + .08 \text{ ESDI}$ fanden sich bei dieser Kombination fünf Mißklassifikationen. Es ergab sich eine Sensitivität von 83%, eine Spezifität von 86% und eine Treffsicherheit von 85% (Abb. 72).



4.7.14. Enddiastolischer Diameter in Kombination mit dem endsystolischen Diameter:

Vier Mißklassifikationen waren mit dieser Kombination bei einer Grenze von $L = -1.5 \text{ EDDI} + 1.7 \text{ ESDI}$ zu verzeichnen. Die Sensitivität betrug 83%, die Spezifität 86% und die Treffsicherheit 85% (Abb. 73).

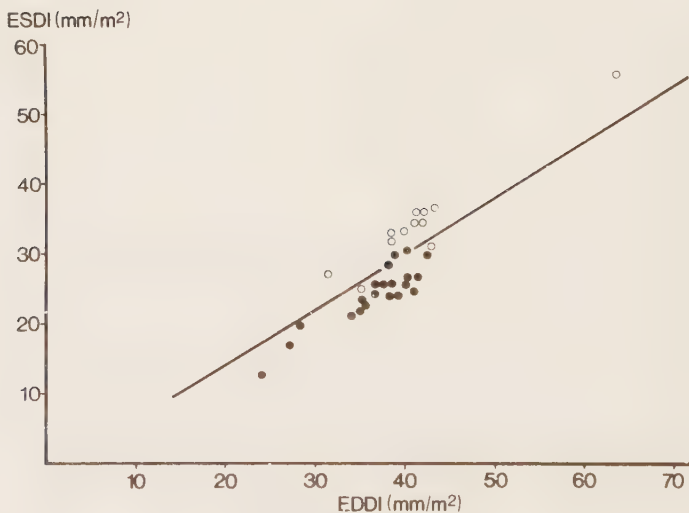


Abb. 73: Präoperativer enddiastolischer Diameterindex in Kombination mit dem endsystolischen Diameterindex bei postoperativ normaler und pathologischer Auswurf fraktion.

4.7.15. Endsystolische Wandspannung in Kombination mit dem endsystolischen Diameter:

Bei einer Grenze von $L = -.02 \text{ ESWS} - .29 \text{ ESDI}$ wurden drei Patienten mißklassifiziert. Es ergab sich eine Sensitivität von 75%, eine Spezifität von 100% und eine Treffsicherheit von 91% (Abb. 74).

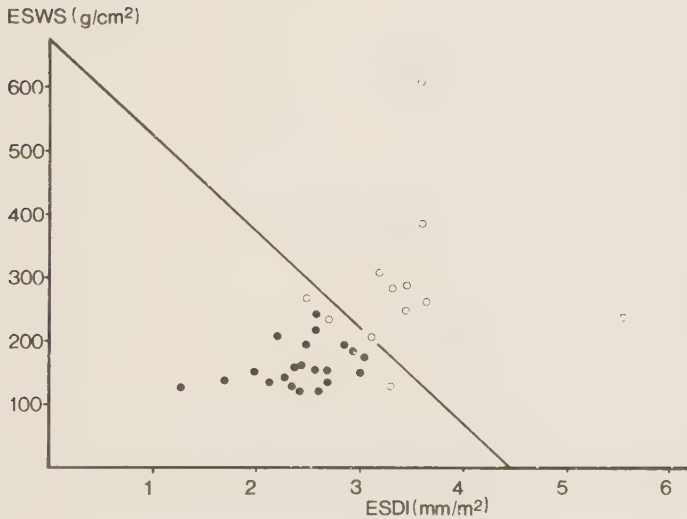


Abb. 74: Präoperative endsystolische Wandspannung in Kombination mit dem endsystolischen Diameterindex bei postoperativ normaler und pathologischer Auswurf fraktion.

4.7.16. Spitzensystolische Wandspannung in Kombination mit dem endsystolischen Diameter:

Vier Mißklassifikationen ergaben sich bei dieser Kombination mit einer Grenze von $L = -.01 \text{ PSWS} - .33 \text{ ESDI}$. Es fanden sich eine Sensitivität von 75%, eine Spezifität von 95% und eine Treffsicherheit von 88% (Abb. 75).

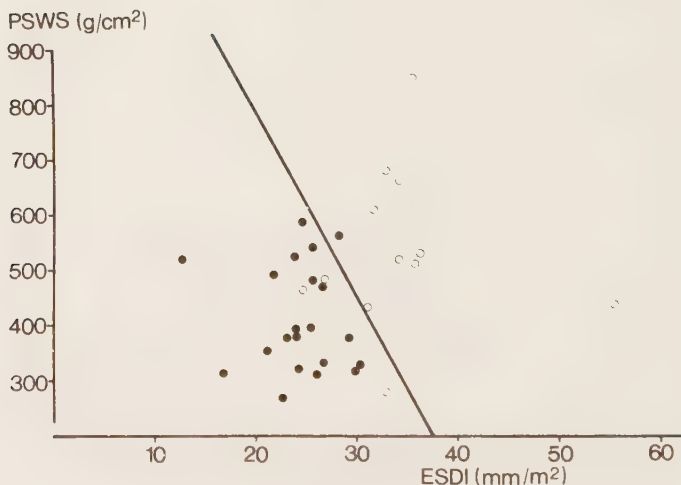


Abb. 75: Präoperative spitzensystolische Wandspannung in Kombination mit dem endsystolischen Diameterindex bei postoperativ normaler und pathologischer Auswurf fraktion.

Pat.	Alter (J)	RAP (mmHg)	RVP (mmHg)	LAP (mmHg)	LVP (mmHg)	AoP (mmHg)	SVR (dyn·sec·cm ⁻⁵)	PVR (dyn·sec·cm ⁻⁵)	PAR (dyn·sec·cm ⁻⁵)
		m	s/d	m	s/d	s/d			
JB	41	6.5	75 13	-	145/42	150/65	1514	855	-
HB	57	1.0	26 2	12.0	150/7	165/65	2143	365	91
FE	32	1.0	30 3	8.0	140/9	150/55	873	139	65
OH	48	1.0	32 4	12.0	90/27	90/35	1310	378	111
JK	29	3.0	24 5	7.0	110/14	110/50	660	128	59
HK	42	5.0	35 7	11.0	145/15	145/65	951	224	101
AL	62	6.0	40 8	17.0	195/27	200/65	2136	431	112
WM	50	4.5	34 7	11.0	100/39	110/50	646	187	79
JM	37	2.0	28 7	10.0	155/26	150/45	1095	185	53
FM	60	3.0	30 5	18.0	175/42	135/45	1407	293	39
TP	63	2.5	26 4.5	4.5	150/12	145/50	1796	348	243
PS	62	2.0	45 6	5.0	185/10	185/50	1375	310	237
AS	48	4.5	53 3	-	100/36	105/40	936	607	-
US	40	3.0	38 4	4.0	175/8	165/60	740	137	107
AW	63	2.0	20 4	7.5	165/6.5	170/35	1706	241	77
XW	70	3.0	38 3.5	18.0	120/31	130/45	960	272	14
KY	34	3.0	26 4	6.0	120/17	125/65	1113	177	95
JF	45	5.5	29 11	9.0	160/11	135/60	685	138	60
HHa	34	3.0	33 4	7.0	130/14	115/50	726	151	85
HHe	52	3.0	33 6	9.0	140/20	140/50	1088	239	94
AM	53	2.0	19 3	4.0	115/8	115/35	950	147	82
HS	34	4.5	30 7	9.0	125/21	115/60	1102	204	73
WP	48	2.5	23 5	8.0	165/19	175/55	1496	219	102
MA	52	4.5	30 9	8.0	130/18	135/50	1046	234	130
MW	48	3.3	33 6	9.3	141 20	140 52	1185	275	96
± 1SD	12	1.6	12 3	4.1	28 11	27 10	435	168	54

Tab. 28: Alter, Drucke im rechten Vorhof (RAP), rechten Ventrikel (RVP), linken Vorhof (LAP), linken Ventrikel (LVP) und Aorta (AoP) sowie System- (SVR), Pulmonalgefäß- (PVR) und Lungenarteriolen- (PAP) Widerstände bei Patienten mit postoperativ normaler Auswurffrac-tion (präoperative Daten).

Pat.	CI _R (l/min/m ²)	CI _{50W} (l/min/m ²)	EF _{max.B} (%)	PAP _{max.B} (mmHg)
JB	3.51	5.08	40	53
HB	3.39	5.99	44	50
FE	5.51	7.37	60	33
OH	2.81	6.28	69	18
JK	2.96	6.34	40	28
HK	3.01	5.36	40	46
AL	3.75	5.40	41	45
WM	3.62	6.77	41	50
JM	3.57	5.96	64	25
FM	2.89	6.13	47	43
TP	1.79	3.14	46	42
PS	2.77	4.95	53	44
AS	3.19	5.90	32	51
US	4.71	8.71	57	25
AW	2.17	4.78	43	27
XW	3.49	7.04	62	45
KY	2.75	5.86	57	25
JF	4.19	7.17	49	28
HHa	4.57	5.97	65	51
HHe	3.30	6.00	54	33
AM	2.50	6.16	36	35
HS	2.19	4.98	69	27
WP	2.95	6.64	43	33
MA	2.65	6.22	55	30
MW	3.26	6.01	50	37
± 1 SD	0.86	1.07	11	11

Tab.29 : Herzindex in Ruhe (CI_R) und unter Belastung mit 50 Watt (CI_{50W}), Auswurf fraktion unter maximaler Belastung (EF_{max.B}), Pulmonalarteriendruck unter maximaler Belastung (PAP_{max.B}) bei Patienten mit postoperativ normaler Auswurf fraktion (präoperative Daten).

Pat.	EDVI (ml/m ²)	ESVI (ml/m ²)	MI (g/m ²)	SVI (ml/m ²)	AVDO ₂ (Vol%)	RV/EDV
JB	180	125	158	27	4.9	0.16
HB	196	92	256	31	6.0	0.37
FE	156	79	131	46	4.0	0.20
OH	140	49	141	34	4.2	0.41
JK	131	63	126	44	4.2	0.18
HK	138	37	242	38	5.7	0.46
AL	94	39	102	26	3.7	0.31
WM	130	60	110	56	3.8	0.11
JM	192	84	145	50	5.8	0.30
FM	138	57	140	32	5.6	0.36
TP	151	60	167	27	4.8	0.42
PS	107	58	111	40	4.0	0.08
AS	190	99	156	32	4.7	0.31
US	144	67	145	56	3.0	0.15
AW	163	50	232	30	6.2	0.51
XW	173	66	189	53	5.0	0.31
KY	129	47	195	43	5.0	0.30
JF	160	86	235	62	4.3	0.08
HHa	135	51	144	61	4.9	0.17
HHe	158	72	151	41	4.9	0.27
AM	242	107	297	47	5.0	0.36
HS	152	60	194	39	5.3	0.35
WP	216	129	231	34	6.4	0.25
MA	170	79	196	42	5.7	0.29
MW	158	72	175	41	4.9	0.28
+ 1 SD	34	25	52	11	0.9	0.12

Tab. 30 : Enddiastolischer Volumenindex (EDVI), endsystolischer Volumenindex (ESVI), Masseindex (MI), Schlagvolumenindex (SVI), arteriovenöse Sauerstoffdifferenz (AVDO₂) sowie Quotient aus Regurgitationsvolumen und enddiastolischem Volumen (RV/EDV) bei Patienten mit postoperativ normaler Auswurfraction (präoperative Daten).

Pat.	PSWS (g/cm ²)	ESWS (g/cm ²)	EDWS (g/cm ²)	V/M (ml/g)	MNSER (1/sec)	PI (g/cm ² · s)	PEP/LVET
JB	481	218	166	1.14	0.88	36	0.21
HB	377	186	21	0.77	1.78	108	0.36
FE	474	156	37	1.19	1.32	80	0.26
OH	268	143	95	0.99	1.92	55	0.24
JK	322	153	47	1.04	1.74	67	0.17
HK	273	86	35	0.57	2.19	94	0.29
AL	520	128	89	0.92	1.43	80	0.22
WM	333	137	161	1.18	1.60	48	0.17
JM	589	195	124	1.33	1.52	93	0.24
FM	541	244	152	0.98	1.55	74	0.19
TP	396	156	37	0.91	2.06	107	0.25
PS	563	195	35	0.96	1.56	114	0.20
AS	325	175	133	1.22	1.56	53	0.20
US	526	160	29	0.99	1.67	127	0.25
AW	379	123	18	0.70	1.91	135	0.20
XW	314	123	96	0.92	1.60	61	0.23
KY	261	139	44	0.66	1.82	62	0.27
JF	366	153	28	0.68	1.30	73	0.26
HHa	379	130	51	0.94	2.07	108	0.30
HHe	399	158	70	1.04	1.60	79	0.24
AM	319	152	26	0.82	1.72	83	0.34
HS	316	135	63	0.78	1.68	60	0.18
WP	493	209	66	0.94	1.15	56	0.22
MA	354	136	58	0.87	1.12	43	0.20
MW + 1 SD	398 100	158 35	70 47	0.94 0.19	1.61 0.31	79 27	0.24 0.05

Tab. 31: Spitzensystolische (PSWS), endsystolische (ESWS), enddiastolische (EDWS) Wandspannung, Volumen-Masse-Quotient (V/M), mittlere normalisierte systolische Auswurfrate (MNSER), Leistungsindex (PI) und Quotient aus Spannungszeit und linksventrikulärer Auswurfzeit (PEP/LVET) bei Patienten mit postoperativ normaler Auswurf-fraktion (präoperative Daten).

Pat.	ESP/ESVI ($\frac{\text{mm Hg}}{\text{ml/m}^2}$)	PSP/ESVI ($\frac{\text{mm Hg}}{\text{ml/m}^2}$)	ESWS/ESVI ($\frac{\text{g}}{\text{cm}^2 \cdot \text{ml/m}^2}$)	PSWS/ESVI ($\frac{\text{g}}{\text{cm}^2 \cdot \text{ml/m}^2}$)	MSI (mmHg)	CSI (mmHg)
JB	0.84	1.16	1.74	8.85	108.9	95.5
HB	1.20	1.63	2.03	4.10	4.7	6.2
FE	1.01	1.77	1.97	6.00	11.0	9.2
OH	1.53	1.84	2.92	5.47	14.4	14.5
JK	1.19	1.75	2.43	5.11	13.5	13.0
HK	2.43	3.92	2.32	7.38	3.1	5.5
AL	2.31	5.00	3.27	13.34	17.6	19.2
WM	1.33	1.67	2.28	5.55	39.4	33.4
JM	1.25	1.85	2.33	7.01	26.8	20.2
FM	2.11	3.07	4.28	9.49	29.1	29.6
TP	1.50	2.50	2.60	6.59	7.2	7.9
PS	1.64	3.19	3.37	9.70	11.4	11.8
AS	0.76	1.01	1.77	3.28	47.8	39.2
US	1.34	2.61	2.39	7.85	6.9	7.0
AW	1.80	3.30	2.46	7.59	2.0	2.9
XW	1.14	1.82	1.86	4.75	17.5	19.1
KY	2.23	2.55	2.95	5.54	6.5	9.7
JF	0.99	1.86	1.78	4.26	8.7	12.8
HHa	1.67	2.55	2.54	7.43	8.0	8.5
HHe	1.40	1.94	2.16	5.43	17.4	16.7
AM	0.79	1.08	1.42	2.98	5.2	6.3
HS	1.42	2.08	2.32	5.27	10.7	13.7
WP	0.81	1.28	1.62	3.82	26.4	28.2
MA	1.01	1.65	1.72	4.49	13.5	15.6
MW	1.40	2.21	2.35	6.10	19.1	18.6
+ 1 SD	.49	.95	.65	2.37	22.3	18.8

Tab. 32 : Quotienten aus endsystolischem Druck (ESP), spitzensystolischem Druck (PSP), endsystolischer Wandspannung (ESWS), spitzensystolischer Wandspannung (PSWS) und dem endsystolischen Volumenindex (ESVI), Muskelsteifigkeitsindex (MSI) und Kammersteifigkeitsindex (CSI) bei Patienten mit postoperativ normaler Auswurfraction (präoperative Daten).

Pat.	EDDI (mm/m ²)	ESDI (mm/m ²)	WTH _d (mm)	CSA (cm ²)	FS (%)
JB	38	26	9.0	26	32
HB	39	29	16.0	38	25
FE	40	27	8.0	24	34
CH	36	23	11.0	22	36
JK	38	24	10.0	28	35
HK	-	-	16.0	-	-
AL	24	13	9.0	14	48
WM	42	27	8.0	23	36
JM	41	25	9.0	26	40
FM	38	26	11.0	24	33
TP	37	26	13.0	25	31
PS	38	29	9.0	19	25
AS	40	30	9.0	24	25
US	39	24	9.0	24	39
AW	39	24	14.0	33	38
XW	40	26	12.0	29	35
KY	-	-	12.5	-	-
JF	-	-	14.0	-	-
HHa	35	23	11.0	27	34
HHe	37	24	11.0	26	34
AM	43	30	12.0	34	30
HS	27	17	12.0	32	38
WP	35	22	14.0	32	38
MA	34	21	13.0	32	38
MW + 1 SD	37 4	25 4	11.3 2.4	27 5	34 5

Tab. 33 : Enddiastolischer (EDDI), endsystolischer (ESDI) Diameterindex, Wanddicke (WTH_d), myokardiale Querschnittsfläche (CSA) und prozentuale Faserverkürzung (FS) bei Patienten mit postoperativ normaler Auswurfraction (präoperative Daten).

Pat.	Alter (J)	RAP (mmHg)	RVP (mmHg)	LAP (mmHg)	LVP (mmHg)	AoP (mmHg)	SVR (dyn·sec·cm ⁻⁵)	PVR	PAR
		m	s/d	m	s/d	s/d			
AE	62	11.0	60 15	28	115/36	145/65	1349	770	222
EK	47	1.0	37 5	17	130/24	125/60	1927	561	146
JK	47	6.0	50 12	25	125/41	125/60	2523	1150	351
WL	37	15.0	100 11	-	200/52	215/125	2387	1086	-
VM	49	2.0	30 5	13	155/31	185/65	1458	208	15
FN	62	4.5	42 9	10	175/24	155/60	1299	344	201
GR	49	2.0	40 4	4	175/18	175/70	1467	340	285
WT	65	7.0	40 8	-	130/19	130/70	1522	585	-
ES	54	6.0	53 10	-	150/32	160/75	2227	858	363
HW	46	4.5	80 10	-	185/46	205/75	1777	804	-
KB	49	1.0	22 3.5	7	100/23	130/60	4192	948	599
EE	52	4.5	47 8	23	160/24	170/90	1652	485	125
RS	51	11.0	84 26	28	120/40	130/75	4430	2795	1318
MW	52	5.8	53 10	17	148/32	158/73	2170	856	363
+ 1 SD	8	4.3	23 6	9	30/11	31/18	1029	657	372

Tab. 34 : Alter, Drucke im rechten Vorhof (RAP), rechten Ventrikel (RVP), linken Vorhof (LAP), linken Ventrikel (LVP) und Aorta (AoP), System- (SVR), Pulmonalgefäß- (PVR) und Lungenarteriolen- (PAP) Widerstände bei Patienten mit postoperativ pathologischer Auswurf fraktion (präoperative Daten).

Pat.	CI _R (l/min/m ²)	CI _{50W} (l/min/m ²)	EF _{max.B} (%)	PAP _{max.B} (mmHg)
AE	2.24	3.03	20	57
EK	2.93	3.83	38	50
JK	2.36	3.93	24	57
WL	2.55	—	18	73
VM	3.180	5.42	30	43
FN	2.55	4.11	20	55
GR	2.74	5.90	43	45
WT	2.53	3.25	22	54
ES	2.60	4.40	27	53
HW	2.85	4.49	27	62
KB	2.83	3.84	16	51
EE	2.76	5.39	29	53
RS	1.35	—	22	67
MW	2.58	4.33	26	55
+ 1 SD	0.44	0.92	8	8

Tab. 35 : Herzindex in Ruhe (CI_R) und unter 50 Watt Belastung (CI_{50W}), Auswurf fraktion unter maximaler Belastung (EF_{max.B}) sowie Pulmonalarteriendruck unter maximaler Belastung (PAP_{max.B}) bei Patienten mit postoperativ pathologischer Auswurf fraktion (präoperative Daten).

Pat.	EDVI (ml/m ²)	ESVI (ml/m ²)	MI (g/m ²)	SVI (ml/m ²)	AVDO ₂ (Vol%)	RV/EDV
AE	187	143	357	23	7.5	0.11
EK	220	124	163	27	6.4	0.31
JK	258	194	237	16	7.0	0.19
WL	277	228	221	22	8.4	0.10
VM	242	164	167	32	6.6	0.19
FN	196	125	136	35	4.1	0.18
GR	189	128	221	44	6.4	0.09
WT	203	122	187	24	7.9	0.28
ES	232	163	204	25	7.0	0.18
HW	186	113	154	32	6.6	0.22
KB	418	319	272	15	8.2	0.20
EE	203	139	220	34	6.1	0.15
RS	200	158	145	8	10.2	0.17
MW	232	163	206	26	7.1	0.18
± 1 SD	63	57	60	10	1.4	0.07

Tab. 36 : Enddiastolischer (EDVI) und endsystolischer (ESVI) Volumenindex, Masseindex (MI), Schlagvolumenindex (SVI), arterio-venöse Sauerstoffdifferenz (AVDO₂) sowie Quotient aus Regurgitationsvolumen und enddiastolischem Volumen (RV/EDV) bei Patienten mit postoperativ pathologischer Auswurfraction (präoperative Daten).

Pat.	PSWS (g/cm ²)	ESWS (g/cm ²)	EDWS (g/cm ²)	V/M (ml/g)	MNSER (1/sec)	PI (g/cm ² · s)	PEP/LVET
AE	207	151	71	0.52	0.85	15	0.32
EK	529	263	113	1.35	1.50	69	0.33
JK	433	206	166	1.09	0.63	22	0.24
WL	847	610	231	1.26	0.68	46	0.21
VM	661	249	160	1.45	0.61	35	0.15
FN	609	309	96	1.44	1.13	70	0.31
GR	480	235	57	0.86	0.93	52	0.29
WT	279	130	45	1.09	1.14	32	0.37
ES	518	277	125	1.14	0.90	44	0.27
HW	680	284	199	1.21	1.20	73	0.25
KB	437	239	117	1.53	0.68	26	0.30
EE	464	268	81	0.92	0.88	45	0.20
RS	511	386	185	1.38	0.87	42	0.33
MW	512	277	127	1.17	0.92	44	0.27
+ 1 SD	167	119	58	0.28	0.26	18	0.06

Tab. 37 : Spitzensystolische (PSWS), endsystolische (ESWS) und enddiastolische Wandspannung, Volumen-Masse-Quotient (V/M), mittlere normalisierte systolische Auswurf rate (MNSER), Leistungsindex (PI) und Quotient aus Anspannungszeit und linksventrikulärer Auswurfzeit (PEP/LVET) bei Patienten mit postoperativ pathologischer Auswurf fraktion (präoperative Daten).

Pat.	ESP/ESVI ($\frac{\text{mm Hg}}{\text{ml/m}^2}$)	PSP/ESVI ($\frac{\text{mm Hg}}{\text{ml/m}^2}$)	ESWS/ESVI ($\frac{\text{g}}{\text{cm}^2 \cdot \text{ml/m}^2}$)	PSWS/ESVI ($\frac{\text{g}}{\text{cm}^2 \cdot \text{ml/m}^2}$)	MSI (mmHg)	CSI (mmHg)
AE	0.73	0.80	1.06	1.45	61.3	117.0
EK	0.77	1.05	2.12	4.27	41.8	31.0
JK	0.46	0.64	1.06	2.23	135.4	124.3
WL	0.70	0.88	2.67	3.71	303.7	242.0
VM	0.61	0.95	1.52	4.03	94.7	65.2
FN	1.00	1.40	2.47	4.87	60.9	42.3
GR	0.98	1.37	1.83	3.75	32.3	37.8
WT	0.62	1.07	1.06	2.29	31.1	28.6
ES	0.68	0.92	1.70	3.18	86.0	75.6
HW	1.06	1.64	2.51	6.01	86.1	71.2
KB	0.25	0.31	0.75	1.37	113.7	74.1
EE	1.01	1.15	1.93	3.34	48.1	52.1
RS	0.70	0.76	2.44	3.24	207.5	150.5
MW	0.74	1.00	1.78	3.37	100.2	85.5
$\pm 1 \text{ SD}$	0.23	0.35	0.65	1.32	78.2	60.2

Tab. 38 : Quotienten aus endsystolischem Druck (ESP), spitzensystolischem Druck (PSP), endsystolischer Wandspannung (ESWS), spitzensystolischer Wandspannung (PSWS) und dem endsystolischen Volumenindex (ESVI), Muskelsteifigkeitsindex (MSI) und Kammersteifigkeitsindex (CSI) bei Patienten mit postoperativ pathologischer Auswurf-fraktion (präoperative Daten).

Pat.	EDDI (mm/m ²)	ESDI (mm/m ²)	WTH _d (mm)	CSA (cm ²)	FS (%)
AE	-	-	19	-	-
EK	44	37	11	24	16
JK	43	31	13	34	28
WL	42	36	11	30	15
VM	41	35	8	30	17
FN	39	32	11	32	18
GR	32	27	12	31	15
WT	39	33	13	30	15
ES	42	34	12	30	18
HW	40	33	10	26	17
KB	64	56	9	31	13
EE	35	25	15	37	30
RS	42	36	10	21	14
MW + 1 SD	42 8	34 8	12 3	30 4	18 5

Tab. 39 : Enddiastolischer (EDDI), endsystolischer (ESDI) Diameter-index, Wanddicke (WTH_d), myokardiale Querschnittsfläche (CSA) und prozentuale Faserverkürzung (FS) bei Patienten mit postoperativ pathologischer Auswurf fraktion (präoperative Daten).

5. DISKUSSION

5.1. Verhalten der präoperativen globalen und regionalen Auswurffractionen sowie der maximalen Entleerungs- und Füllungs-raten in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler oder eingeschränkter Ventrikelfunktion.

5.1.1. Auswurffraction - eigene Ergebnisse

Die vorliegenden Untersuchungen ergeben, daß eine Belastung sowohl bei Patienten mit postoperativ normaler (EF_R 59%, EF_{50W} 54%) als auch mit pathologischer (EF_R 31%, EF_{50W} 26%) linksventrikulärer Funktion im Mittel zu einer Abnahme der globalen Auswurffraction führt. Diese Abnahme in beiden Kollektiven beruht im wesentlichen auf dem Verhalten von jeweils 1/3 der Patienten, deren Auswurffraction unter Belastung mit einer Reduktion um mehr als 5% einhergeht, während jeweils 2/3 der Patienten mit Schwankungen im Bereich <5% ein weitgehend unverändertes Verhalten aufweisen. Die im posterolateralen, apikoinferioren und antero-septalen Bereich ermittelten Auswurffractionen fielen unter Belastung wie die globale Auswurffraction sowohl bei Patienten mit postoperativ normaler als auch mit pathologischer linksventrikulärer Funktion ab, wobei das Ausmaß bei ca. 6 - 7% lag. Etwa die Hälfte der Patienten mit postoperativ normaler Ventrikelfunktion und etwa 2/3 der Patienten mit postoperativ pathologischer Ventrikelfunktion wiesen diesen Abfall in allen regionalen Bereichen auf. Somit zeigen die regionalen Auswurffractionen den Abfall unter Belastung deutlicher als die globalen Auswurffractionen. Nur geringe Schwankungen der regionalen Auswurffractionen unter Belastung lassen in beiden Kollektiven etwa 1/3 der Patienten erkennen. Zunahmen in allen drei Bereichen fanden sich nur bei einigen Patienten mit postoperativ normaler Ventrikelfunktion. Somit wiesen sowohl Pa-

tienten mit postoperativ normaler Ventrikelfunktion als auch solche mit postoperativ pathologischer Ventrikelfunktion unter Belastung bezüglich des Verhaltens der globalen und regionalen Auswurffrac tion ein weitgehend einheitliches Verhalten auf. Ausmaß der Abnahme und Anteil der Patienten, die eine Abnahme oder ein Gleichbleiben der Auswurffrac tion erfahren, sind in beiden Patientenkollektiven nahezu gleich, obwohl sich die jeweiligen Ruhewerte deutlich voneinander unterscheiden.

5.1.2. Auswurffrac tion - Ergebnisse in der Literatur

In der Literatur werden Zunahmen, Abnahmen sowie ein Gleichbleiben der Auswurffrac tion unter Belastung beschrieben (7, 8, 12, 13, 16, 26, 30, 37, 40, 47, 48, 50, 63, 66, 79, 92, 99). Dabei wird berichtet, daß sich ein Abfall der Belastungsauswurffrac tion häufiger bei symptomatischen Patienten (12, 13, 30, 50) oder bei Kranken mit erhöhter systolischer Wandspannung findet (37, 40). Diese differierenden Angaben dürften zum einen auf einer unterschiedlichen Zusammensetzung des untersuchten Krankenguts beruhen, zum anderen auf einem unterschiedlichen methodischen Vorgehen bei der Durchführung der Belastungsuntersuchungen (17, 34, 65).

5.1.3. Auswurffrac tion - Beeinflussung durch die angewandte Methodik

Eigene Untersuchungen bei Herzgesunden (Tab. 40) lassen zwischen Ruheauswurffrac tion, ermittelt in halbliegender Position mit noch nicht angehobenen Beinen und Belastungsauswurffrac tion, bei der zur Bedienung des Ergometers die Beine angehoben werden müssen, keinen signifikanten Unterschied erkennen, unabhängig davon, ob als Belastungsstufe 50 Watt oder eine maximal mögliche Belastung gewählt wurde. Nur 5/20 der Herzgesunden wiesen einen Anstieg der

Belastungsauswurffraktion über 5% auf. Bei Patienten mit Aorteninsuffizienz konnte bei keinem der Kranken ein Anstieg der Belastungsauswurffraktion über 5% festgestellt werden, unabhängig davon, ob eine graduierte oder maximale Belastung durchgeführt wurde. Bei Patienten mit postoperativ normaler Auswurffraktion fand sich unter maximaler Belastung jedoch eher ein stärkerer Abfall der Auswurffraktion als unter einer 50 Watt Belastung. Dagegen ergab sich in der Gruppe von Patienten mit postoperativ pathologischer Ventrikelfunktion, unabhängig davon, ob maximal oder mit 50 Watt belastet wurde, der gleiche Wert, wahrscheinlich deshalb, weil hier das Belastungsausmaß keine größeren Differenzen aufwies. Im Gegensatz zu dem in der Literatur beschriebenen Vorgehen zogen wir eine für alle Patienten gleiche und für alle Kranken verfügbare Belastung mit 50 Watt zur Auswertung heran, um einen besseren Vergleich und eine Zusammenfassung der von den einzelnen Patienten erhobenen Parameter zu ermöglichen, insbesondere bezüglich des Drucks im kleinen und großen Kreislauf, des Herzminutenvolumens und der Herzfrequenz, die eindeutig vom Belastungsausmaß beeinflusst werden.

	EF% R	EF% 50W	EF% 100W	EF% max.B
	64	73	71	71
	58	60	55	55
	74	76	80	80
	56	66	73	76
	59	62	64	61
	57	65	65	65
	72	73	73	78
	81	82	83	85
	67	73	69	69
	65	69	72	71
	67	69	68	68
	52	52	57	57
	75	75	74	73
	60	63	69	71
	73	75	74	75
	70	79	79	80
	65	68	67	71
	67	68	68	69
	63	65	61	61
	64	63	61	61
MW	65.3	68.8	69.2	69.9
+ 1SD	7.3	7.1	7.4	8.0
-				

Tab. 40: Auswurffraktion (EF) in Ruhe (R), bei 50 Watt (50W), 100 Watt (100W) und maximaler Belastung (max.B) ermittelt an 20 Herzgesunden.

5.1.4. Auswurffraktion - Determinanten

Das Verhalten der Auswurffraktion resultiert aus dem Zusammenspiel von Vorlast, Nachlast und kontraktilem Zustand des Myokards. Bei Gesunden werden unter Belastung sowohl Zunahmen (5, 16, 26, 75, 93, 95,) und Abnahmen (91) als auch ein Gleichbleiben (23, 69, 71, 96, 98) des linksventrikulären enddiastolischen Volumens beschrieben, so daß Anstiege, Abnahmen und Gleichbleiben des endsystolischen Wandstress oder, anders ausgedrückt, der Vorlast, auftreten können. Abnahmen der Vorlast werden die Auswurffraktion im Sinne eines Abfalles, Zunahmen der Vorlast im Sinne eines Anstiegs beeinflussen. Eine Aktivierung des sympathischen Nervensystems erhöht den kontraktilem Zustand des Myokards und führt zu einer Zunahme der Auswurffraktion. Die Drucksteigerung während der Belastung und eine mögliche Vergrößerung des enddiastolischen Volumens können zu einem Anstieg der systolischen Wandspannung und damit der Nachlast führen, die den beiden anderen genannten Faktoren entgegenwirkt, d.h., einen Abfall der Auswurffraktion hervorruft. Kontraktilitätssteigerung, Vorlasterhöhung und damit Einbeziehung des Starling-Mechanismus erreichen jedoch ein Ausmaß, so daß die Erhöhung des afterloads zumindest ausgeglichen wird. Wie unsere Befunde an Herzgesunden aufweisen, ändert sich die Auswurffraktion unter Belastung nicht signifikant oder kann, wie andere Ergebnisse zeigen, eine Zunahme erfahren.

Bei Patienten mit Aorteninsuffizienz liegen die Verhältnisse wesentlich komplizierter, weil die durch die Belastung ausgelösten Veränderungen der Lastbedingungen oder Kontraktilität auf bereits veränderte Ausgangsbedingungen auftreffen. Hinzukommt, daß bei Patienten mit Aorteninsuffizienz nicht nur die üblichen Belastungsreaktionen auftreten, sondern es bei diesen infolge der Herzfrequenzzunahme- bzw. Diastolendauerabnahme auch zu einer Reduktion des Regurgitationsvolumens kommt (51, 52, 62, 66). Allein da-

durch können die enddiastolische Füllung und damit der enddiastolische Stress bzw. die Vorlast wesentliche Veränderungen erfahren. Auch bei Patienten mit Aorteninsuffizienz werden variable Veränderungen des enddiastolischen Volumens unter Belastung beschrieben. Wenn, wie besonders bei jüngeren asymptomatischen Patienten beobachtet wurde, das enddiastolische Volumen unter Belastung abnimmt (26, 50) - was darauf hinweist, daß das regurgitierende Volumen eine wesentliche Determinante des enddiastolischen Volumens darstellt -, wird die preload-Ver minderung die Auswurf fraktion im Sinne der Abnahme beeinflussen. Ein Gleichbleiben des enddiastolischen Volumens, das somit keinen Einfluß auf die Auswurf fraktion ausübt, könnte darauf hindeuten, daß sich die Veränderungen des regurgitierenden Volumens und des venösen Zuflusses unter Belastung aufheben. Es könnte aber auch bedeuten, daß die preload-Reserve erschöpft und keine wesentlich stärkere Ventrikelfüllung mehr möglich ist, so daß lediglich der enddiastolische Druck ansteigt. Diese Patienten reagieren dann äußerst empfindlich auf eine Nachlasterhöhung (79). Eine Zunahme des enddiastolischen Volumens (26, 50), wie sie bei symptomatischen Patienten häufiger zu beobachten ist, geht mit einer Inanspruchnahme des Frank-Starling-Mechanismus einher und beeinflusst die Auswurf fraktion im Sinne einer Zunahme. In Abhängigkeit vom kontraktilen Zustand des Myokards führt die mit einer Belastung einhergehende adrenerge Stimulation zu einer Verstärkung der Kontraktion. Diese kann jedoch sehr unterschiedlich ausfallen, so daß die Auswurf fraktion eine im Ausmaß geringere oder deutlichere Zunahme erfährt. Schließlich kann bei Patienten mit Aorteninsuffizienz die Nachlast ebenfalls eine unterschiedliche Beeinflussung durch die Belastung erfahren. Sie wird dann besonders hoch sein, wenn sich das endsystolische Volumen vergrößert. Als Ursache kommt neben einer Verminderung des kontraktilen Zustands des Myokards auch eine inadäquate Hypertrophie in Betracht.

Es konnte gezeigt werden, daß bei Patienten mit normaler Auswurffraktion in Ruhe und einem Abfall unter Belastung bereits in Ruhe eine erhöhte systolische Wandspannung vorliegt. Daraus wurde auf eine inadäquate Hypertrophie geschlossen (37, 39). Im Einzelfall ist es somit aufgrund des Zusammenspiels der genannten Einflüsse nicht möglich, eine Entscheidung zu treffen, ob die Veränderungen der Auswurffraktion durch Belastung auf eine unterschiedliche Beeinflussung von Vorlast, Nachlast oder Kontraktilität zurückzuführen sind. Das unterschiedliche Wirksamwerden der drei genannten Faktoren ist dafür verantwortlich, daß sowohl Patienten mit postoperativ normaler als auch mit pathologischer Ventrikelfunktion in etwa gleichem Ausmaß ein Gleichbleiben bzw. einen Abfall der Belastungsauswurffraktion aufweisen. Würde das Verhalten der Auswurffraktion am ehesten den kontraktilen Zustand des Myokards widerspiegeln, müßten Patienten mit postoperativ eingeschränkter Ventrikelfunktion, deren Kontraktilität mit Sicherheit als vermindert angenommen werden kann, präoperativ vermehrt einen Abfall der Auswurffraktion unter Belastung erkennen lassen, was jedoch tatsächlich nicht der Fall ist. Die Abnahme der Auswurffraktion unter Belastung, unabhängig vom tatsächlichen Wert, gibt somit keine Auskunft über das Vorhandensein irreversibler myokardialer Schädigungen.

Belastungsuntersuchungen im Hinblick auf das Verhalten der Auswurffraktion unabhängig vom Ausgangswert und unabhängig davon, auf welchen Wert die Auswurffraktion abfällt, liefern somit keine zusätzlichen Informationen, die für die Ermittlung des optimalen Operationszeitpunktes von Bedeutung sind.

5.1.5. Maximale Entleerungs- und Füllungsrate - eigene Ergebnisse

Die maximale Entleerungsrate wies weder bei Kranken mit postoperativ normaler noch bei Patienten mit postoperativ pathologischer Ventrikelfunktion unter Belastung eine signifikante Veränderung auf. Der über $0,5 \text{ sec}^{-1}$ bei der Hälfte der Patienten mit postoperativ normaler und bei etwa $1/3$ der Patienten mit postoperativ pathologischer Ventrikelfunktion zu beobachtende Anstieg reicht somit nicht aus, um den Mittelwert im Sinne einer Zunahme zu beeinflussen. Dagegen fand sich in beiden Kollektiven ein signifikanter Anstieg der maximalen Füllungsrate, der jeweils von etwa $2/3$ der Patienten getragen wurde.

5.1.6. Maximale Entleerungs- und Füllungsrate - Ergebnisse in der Literatur

Der bei Herzgesunden unter Belastung zu beobachtende Anstieg der maximalen Entleerungsrate läßt sich bei Patienten mit Aorteninsuffizienz, wie auch in der Literatur beschrieben, nicht feststellen (4, 6). Die maximale Füllungsrate steigt auch nach Angaben der Literatur bei Patienten mit Aorteninsuffizienz an, doch ist entsprechend den hier vorliegenden Befunden dieser Anstieg weniger ausgeprägt als bei Herzgesunden (4). Damit zeigen maximale Entleerungsrate und maximale Füllungsrate, die Hinweise auf den kontraktiven Zustand des Myokards geben sollen, prinzipiell ein zur Auswurffraktion ähnliches Verhalten; dem hier fehlenden oder verminderten Anstieg entspricht der zu beobachtende Abfall der Auswurffraktion unter Belastung. Im Vergleich zur Auswurffraktion hat die Bestimmung von maximaler Entleerungs- und Füllungsrate anscheinend keinen Vorteil, obwohl die Belastungsänderungen mit einer Steigerung um das 2- bis 3-fache des Ausgangswertes ein hohes Ausmaß erreichen.

5.2. Verhalten der postoperativen globalen und regionalen Auswurffractionen sowie der maximalen Entleerungs- und Füllungs-raten in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler oder eingeschränkter Ventrikelfunktion

5.2.1. Auswurffraction - eigene Ergebnisse

Nach Aortenklappenersatz wiesen Patienten mit postoperativ normaler Auswurffraction (EF_R 68%, EF_{50W} 67%) unter Belastung keine eindeutigen Veränderungen auf. Kranke mit postoperativ pathologischer Auswurffraction (EF_R 35%, EF_{50W} 32%) zeigten dagegen einen signifikanten Abfall. Jeweils 2/3 der Patienten in beiden Kollektiven ließen nur geringe Schwankungen der Auswurffraction in einem Bereich $<5\%$ erkennen. Kranke mit postoperativ normaler Ventrikelfunktion wiesen nur vereinzelt Abnahmen oder Zunahmen der Auswurffraction um mehr als 5% auf, wobei die Abnahme bei Patienten mit ausgesprochen hohen Ausgangswerten auftrat. Sie entsprachen damit in ihrem Verhalten weitgehend Herzgesunden. Dagegen fanden sich bei etwa 1/3 der Patienten mit postoperativ pathologischer Ventrikelfunktion Abnahmen der Auswurffraction um mehr als 5%, d.h., diese Patienten wiesen ein sehr ähnliches Verhalten auf wie präoperativ. Die regionalen Auswurffractionen zeigten in beiden Patientenkollektiven unter Belastung in je einem Bereich signifikante Abnahmen. Signifikante Zunahmen wurden nicht beobachtet. Patienten mit postoperativ pathologischer Ventrikelfunktion wiesen prozentual häufiger eine Abnahme der regionalen Auswurffractionen auf als Patienten mit postoperativ normaler Ventrikelfunktion. Dagegen waren Zunahmen der regionalen Auswurffractionen im allgemeinen nur bei Patienten mit postoperativ normaler Ventrikelfunktion zu beobachten. Insgesamt wiesen also die regionalen Auswurffractionen ein sehr ähnliches Verhalten auf wie die globale Auswurffraction und erbrachten keine zusätzliche Information. Während Patienten mit postoperativ normaler Ventrikelfunktion unter

Belastung keine signifikanten Veränderungen der globalen Auswurffraktion erkennen lassen und somit ein ähnliches Verhalten wie Herzgesunde aufweisen, verhalten sich Kranke mit postoperativ pathologischer Ventrikelfunktion nach Aortenklappenersatz ähnlich wie präoperativ, d.h., sie lassen einen mehr oder weniger deutlichen Abfall erkennen.

5.2.2. Auswurffraktion - Ergebnisse in der Literatur

In der Literatur finden sich nur wenige Untersuchungen der Auswurffraktion unter Belastung nach Aortenklappenersatz. Während einmal (13) sowohl bei Patienten mit postoperativ eingeschränkter als auch normaler Ventrikelfunktion ein Abfall der Auswurffraktion unter Belastung zu erkennen gewesen sei, ergab eine andere Untersuchung (46) keine Veränderungen der Auswurffraktion unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler Ventrikelfunktion. Als Erklärung für die bei Patienten mit postoperativ pathologischer Ventrikelfunktion abnehmende Auswurffraktion unter Belastung dürfte am ehesten infrage kommen, daß die preload-Reserve erschöpft ist, die Kontraktilität aber nicht wesentlich gesteigert werden kann und damit die afterload-Belastung besonders wirksam wird.

5.2.3. Maximale Entleerungs- und Füllungsrate - eigene Ergebnisse

Die maximale Entleerungsrate wies unter Belastung nach Aortenklappenersatz bei Patienten mit postoperativ normaler Ventrikelfunktion eine Zunahme auf, die bei mehr als 2/3 der Kranken vorhanden war. Patienten mit postoperativ pathologischer Ventrikelfunktion zeigten auch weiterhin keine signifikante Veränderung, obwohl etwa die Hälfte der Kranken einen Anstieg erfuhren, der jedoch nicht ausreichte, um den Mittelwert im Sinne einer Zunahme zu verändern.

Die maximale Füllungsrate ließ, wie präoperativ in beiden Kollektiven, eine signifikante Zunahme erkennen, die bei fast allen Patienten nachweisbar war. Somit verhalten sich die maximalen Entleerungs- und Füllungsraten unter Belastung auch postoperativ entsprechend der Auswurffraktion: dem Gleichbleiben der Auswurffraktion in der Gruppe mit postoperativ normaler Ventrikelfunktion entspricht ein Anstieg von maximalen Entleerungs- und Füllungsdaten, dem Abfall der Auswurffraktion bei Patienten mit postoperativ eingeschränkter Ventrikelfunktion eine unveränderte maximale Entleerungsrate sowie ein etwas geringerer Anstieg der maximalen Füllungsrate im Vergleich zu Patienten mit postoperativ normaler Ventrikelfunktion.

5.3. Prä- und postoperative Veränderungen der globalen und regionalen Auswurffraktionen sowie der maximalen Entleerungs- und Füllungsdaten in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normalem oder pathologischem Verhalten der Auswurffraktion.

5.3.1. Auswurffraktion - eigene Ergebnisse

Nach dem operativen Eingriff wiesen die Patienten mit postoperativ normaler Ventrikelfunktion in Ruhe (EF_v 59%, EF_s 68%) und unter Belastung (EF_v 54%, EF_s 67%) einen signifikanten Anstieg der linksventrikulären Auswurffraktion auf. Dieser Anstieg war in Ruhe bei etwa der Hälfte und während Belastung bei etwa 2/3 der Patienten zu beobachten. Die übrigen Kranken zeigten ein weitgehend unverändertes Verhalten. Nur ganz vereinzelt fand sich eine Abnahme der Auswurffraktion. Auch die regionalen Auswurffraktionen nahmen in der Regel sowohl in Ruhe als auch unter Belastung zu. Der überwiegende Anteil der Patienten ließ diese Zunahme deutlich erkennen. Nur gelegentlich war ein Gleichbleiben bzw. eine Abnahme zu beobachten. Somit ist der postoperative Anstieg der Auswurffraktion sowohl global

als auch regional eindeutig sichtbar. Patienten mit postoperativ pathologischer Ventrikelfunktion erfuhren nach Aortenklappenersatz lediglich unter Belastung (EF_v 26%, EF_s 32%) eine signifikante Zunahme, während sich in Ruhe (EF_v 31%, EF_s 35%) keine wesentlichen Veränderungen ergaben. Obwohl die Ruhewerte postoperativ keine signifikanten Zunahmen aufwiesen, zeigten sie jedoch in der Tendenz dasselbe Verhalten wie die Belastungswerte. Etwa zu gleichen Teilen ergab sich für die Kranken sowohl in Ruhe als auch unter Belastung postoperativ eine Zunahme oder ein Gleichbleiben der Auswurffrac tion; nur gelegentlich wurden Abnahmen beobachtet. Dagegen zeigten die regionalen Auswurffrac tionen sowohl in Ruhe als auch unter Belastung im posterolateralen und im apikoinferioren Bereich signifikante Zunahmen, den auch der Überwiegende Anteil der Patienten erkennen ließ. Im anteroseptalen Bereich fanden sich dagegen keine wesentlichen Veränderungen in Ruhe und unter Belastung, wobei jeweils 1/3 der Patienten gleichermaßen eine Zunahme, ein Gleichbleiben bzw. eine Abnahme zeigte. Somit ist in Ruhe die Zunahme der regionalen Auswurffrac tionen deutlicher als die der globalen Auswurffrac tion, die eine solche nur in der Tendenz erkennen läßt. Insgesamt betrachtet zeigten Patienten mit postoperativ normaler Ventrikelfunktion nach Aortenklappenersatz im Mittel deutlichere Zunahmen der Auswurffrac tion als Patienten mit postoperativ weiterhin bestehender, eingeschränkter Ventrikelfunktion. Im Einzelfall läßt sich in beiden Gruppen aufgrund der präoperativen Auswurffrac tion jedoch nicht voraussagen, bei welchem Patienten es zu einem deutlichen Anstieg kommt. Dies kann bei Patienten mit niedrigerer präoperativer Auswurffrac tion ebenso sein wie bei Patienten mit präoperativ normaler oder sogar hoher Auswurffrac tion.

5.3.2. Maximale Entleerungs- und Füllungsrate - eigene Ergebnisse

Die maximalen Entleerungs- und Füllungsraten ließen nach Aortenklappenersatz in Ruhe und unter Belastung sowohl bei Patienten mit postoperativ normaler als auch pathologischer Ventrikelfunktion entweder keine sicheren Veränderungen oder aber einen signifikanten Anstieg erkennen. Jeweils etwa die Hälfte der Patienten in den verschiedenen Kollektiven wiesen dabei eine Zunahme auf, so daß mindestens richtungsmäßig eine Übereinstimmung mit dem Verhalten der Auswurffraktion besteht. Bemerkenswert ist auch, daß Kranke mit postoperativ normaler Ventrikelfunktion, d.h. normaler Auswurffraktion, auch maximale Entleerungs- und Füllungsraten aufweisen, die denen Herzgesunder entsprechen, während Patienten mit eingeschränkter Ventrikelfunktion, d.h. einer pathologischen Auswurffraktion, deutlich verminderte maximale Entleerungs- und Füllungsraten erkennen lassen. Bei Patienten mit Aorteninsuffizienz und normaler Ventrikelfunktion ist davon auszugehen, daß die maximalen Entleerungs- und Füllungsraten normal sind und somit die Aortenregurgitation diese Parameter nicht maßgebend beeinflusst (4, 6). Insgesamt ergibt sich auch hier, daß die Aussagekraft der maximalen Entleerungs- und Füllungsraten nicht über die der globalen Auswurffraktion hinausgeht.

5.3.3. Auswurffraktion - Ursache der postoperativen Verbesserung

Als Ursache der bei Patienten mit Aorteninsuffizienz postoperativ zu beobachtenden Verbesserung der linksventrikulären Auswurffraktion ist eine Reduktion der erhöhten Lastbedingungen durch Beseitigung der Regurgitation anzusehen (81). Eine deutliche Zunahme der Auswurffraktion nach Aortenklappenersatz ist bei denjenigen Kranken zu erwarten, bei denen präoperativ eine erhöhte systolische Wandspannung

vorliegt, ohne daß es bereits zu ausgeprägten, irreversiblen myokardialen Veränderungen gekommen ist. Ein weitgehend unverändertes Verhalten der Auswurffraktion prä- und postoperativ kann bei den Patienten beobachtet werden, die präoperativ eine normale Auswurffraktion infolge einer normalen Kontraktilität und einer adäquaten Hypertrophie des Herzens aufweisen, bei denen also keine wesentlich erhöhte afterload-Belastung trotz ausgeprägter Aorteninsuffizienz besteht. Die Hypertrophie bildet sich nach Beseitigung der Volumenbelastung postoperativ zurück. Die Auswurffraktion ist präoperativ gut, und sie bleibt es auch postoperativ. Keine Verbesserung einer eingeschränkten Auswurffraktion ist bei denjenigen Patienten zu erwarten, die eine Reduktion der myokardialen Funktion mit deutlich vergrößertem Herzen aufweisen. Durch eine ständige Volumenbelastung verändert der Ventrikel seine Form (31); es kommt zu einem myofibrillären Slippage, zu Zelluntergängen und einer Fibrose, so daß nicht reversible, strukturelle Veränderungen auftreten, die zur Folge haben, daß eine operative Beseitigung der Aorteninsuffizienz keine wesentliche afterload-Reduktion mehr bewirken kann.

5.3.4. Prä-/postoperative Auswurffraktion - Ergebnisse in der Literatur

Bei dem unterschiedlichen Verhalten der Auswurffraktion nach Aortenklappenersatz ist es verständlich, daß in der Literatur über signifikante Zunahmen sowie auch über keine signifikanten prä- und postoperativen Veränderungen berichtet wird (10, 15, 21, 53, 58, 59, 61, 67, 72, 73, 86, 87, 88, 102).

5.3.5. Prä-/postoperative Auswurffraktion - Normalisierung

Die Patienten, die postoperativ eine normale Ventrikelfunktion aufweisen, zeigen präoperativ in Ruhe und unter Belastung entweder völlig normale oder knapp unterhalb des

Normbereichs liegende Werte. Insgesamt erfuhren 4/24 Patienten, die in Ruhe und 13/23 Kranke, die unter Belastung präoperativ eine eingeschränkte Auswurffraktion aufwiesen, nach Aortenklappenersatz eine Normalisierung. Patienten mit postoperativ eingeschränkter Auswurffraktion ließen auch präoperativ sowohl in Ruhe als auch unter Belastung pathologische Werte erkennen. Ruhe- und Belastungsauswurffraktion waren meist deutlich eingeschränkt.

5.3.5.1. Wert der präoperativen Auswurffraktion, der mittleren normalisierten systolischen Auswurfrate und der prozentualen Faserverkürzung für die Vorhersage der postoperativen Ventrikelfunktion

Die Frage, welche präoperativen Parameter geeignet sind, die postoperative Ventrikelfunktion vorherzusagen, konnte mit Hilfe einer Diskriminanzanalyse beantwortet werden. Von den individuell getesteten Parametern erwies sich die linksventrikuläre Auswurffraktion unter Belastung mit 50 Watt zur Differenzierung zwischen Patienten mit postoperativ normaler und solchen mit postoperativ pathologischer Auswurffraktion am geeignetsten. Bei einer Grenze von 40% konnten alle Kranken richtig zugeordnet werden. Dies entspricht einer Treffsicherheit von 100%. Auch die regionalen Auswurffraktionen im posterolateralen, apikoinferioren oder anteroseptalen Bereich sind für die Differenzierung relativ gut geeignet. Die Treffsicherheit, wie aus Tabelle 26 ersichtlich, lag bei den angegebenen Grenzen zwischen 94 und 85%. Zieht man die Ruheauswurffraktion mit einer Grenze von 45% heran, so ergab sich eine Treffsicherheit von 92%. Dasselbe Verhalten zeigte die Auswurffraktion bei einer Grenze von 38% unter maximaler Belastung. Die mittlere normalisierte systolische Auswurfrate liegt mit einer Treffsicherheit von 89% nur geringgradig niedriger. Auch die prozentuale Faserverkürzung mit einer Grenze von 26% weist mit 85%-iger Treffsicherheit noch eine relativ gute Diffe-

renzierung auf. Somit erlauben die szintigraphisch bestimmten Auswurffractionen sowohl in Ruhe als auch unter Belastung und bis zu einem gewissen Grad auch die prozentuale Faserverkürzung eine weitgehend zuverlässige Vorhersage des postoperativen Resultats hinsichtlich der Ventrikelfunktion. Auch Borer konnte zeigen, daß Patienten mit einer Belastungsauswurffraction unter 40% postoperativ mit großer Wahrscheinlichkeit subnormale Werte aufwiesen (13). Die Bedeutung der Auswurffraction für den postoperativen Verlauf läßt sich auch aus den Studien von Greves ableiten, der zeigen konnte, daß bei einer Auswurffraction in Ruhe unter 45% die Kranken postoperativ eine eingeschränkte Lebenserwartung haben (40). Die von ihm ermittelte Grenze von 45% stimmt exakt mit der von uns ermittelten Grenze überein, bei deren Überschreitung postoperativ mit einer normalen Ventrikelfunktion gerechnet werden kann.

5.3.5.2. Wert des endsystolischen bzw. enddiastolischen Volumens oder Diameter für die Vorhersage der postoperativen Ventrikelfunktion

Eine Trennung von Patienten mit postoperativ normaler oder pathologischer Ventrikelfunktion ist auch mit Hilfe des endsystolischen Volumenindex oder des endsystolischen Diameterindex möglich, wobei eine Treffsicherheit von 92 bzw. 88% erzielt wird. Mit Hilfe des enddiastolischen Volumenindex oder des enddiastolischen Diameterindex ist mit einer Treffsicherheit von 84 bzw. 70% eine höhere Mißklassifikationsrate gegeben. Borer und Boucher berichten über eine gute Korrelation zwischen präoperativem endsystolischen Volumenindex und der postoperativen prozentualen Faserverkürzung bzw. Auswurffraction (14, 15). Turina konnte zeigen, daß mit einem enddiastolischen Volumenindex über 200 ml/m² die Patienten identifiziert werden können, die postoperativ an einer Herzinsuffizienz oder an anderen kardialen Ursachen verstarben (103).

5.3.5.3. Wert der präoperativen Wandspannung und des Volumenmassequotienten für die Vorhersage der postoperativen Ventrikelfunktion.

Mit Hilfe der endsystolischen Wandspannung läßt sich noch eine relativ gute Differenzierung von Patienten mit postoperativ normaler oder pathologischer Ventrikelfunktion durchführen, da die Treffsicherheit mit 86% ermittelt werden konnte. Eine wesentlich geringere Treffsicherheit weisen der Volumenmassequotient mit 78%, die enddiastolische Wandspannung mit 73% und die spitzensystolische Wandspannung mit 68% auf. Auch Kumpuris, der den echokardiographisch bestimmten endsystolischen Stress heranzog, konnte zeigen, daß mit diesem Parameter eine Anzahl von Patienten mißklassifiziert werden (60). Er konnte allerdings ebenfalls zeigen, daß der endsystolische Stress zur Trennung besser geeignet ist als andere, echokardiographisch bestimmbare Parameter, wie linksventrikuläre Diameter oder prozentuale Faserverkürzung.

5.3.5.4. Wert des präoperativ ermittelten Pulmonalarterien-drucks und Herzminutenvolumens in Ruhe und unter Belastung für die Vorhersage der postoperativen Ventrikelfunktion.

Von den hämodynamischen Daten sind der Pulmonalarterien-druck in Ruhe mit einer Treffsicherheit von 84% und unter Belastung mit einer Treffsicherheit von 81% zur Differenzierung in postoperativ normale oder postoperativ eingeschränkte Ventrikelfunktion geeigneter als der Herzindex unter Belastung oder in Ruhe mit einer Treffsicherheit von 77 bzw. 70%.

5.3.5.5. Wert der präoperativen Symptomatik für die Vorhersage der postoperativen Ventrikelfunktion.

Mit Hilfe der Symptomatik, evaluiert anhand der New-York-Heart-Association-Klassifikation, ist eine verlässliche Differenzierung von Patienten mit postoperativ normaler oder pathologischer Ventrikelfunktion nicht möglich. Die Treffsicherheit beträgt nur 70%. Kranke mit normaler oder pathologischer Ventrikelfunktion finden sich in den Klassen I - IV. Als Schlußfolgerung läßt sich lediglich sagen, daß Patienten der Klasse IV postoperativ in der Regel eine pathologische Ventrikelfunktion aufweisen, während die Mehrzahl der Kranken der Klasse I, II und III eine normale postoperative Ventrikelfunktion erkennen lassen. Daß die Klassifikation der NYHA weniger verlässlich ist als hämodynamische Parameter, geht daraus hervor, daß Patienten in Klasse I, die einen pathologischen Pulmonalarteriendruckanstieg erfahren, eigentlich Symptome aufweisen müßten, und umgekehrt, daß Patienten in Klasse III, die ein normales Verhalten des Pulmonalarteriendrucks und des Herzminutenvolumens zeigen, asymptomatisch sein sollten. Nur für Patienten in Klasse IV, die einen erhöhten Pulmonalarteriendruck sowie einen verminderten Anstieg des Herzminutenvolumens erkennen lassen, kommt der Klassifikation eine gewisse Bedeutung zu. Es besteht auch keine Korrelation zwischen der Auswurf fraktion und der New-York-Heart-Association-Klassifikation. Sowohl normale als auch pathologisch eingeschränkte Auswurf fraktionen sind in den Klassen I, II und III gleichermaßen verteilt. Patienten der Klasse IV weisen meist eine stark eingeschränkte Auswurf fraktion auf, die postoperativ keine Normalisierung erfahren kann.

5.3.5.6. Wert der Kombination von Auswurf fraktion und endsystolischem Volumen bzw. Faserverkürzung und endsystolischem Diameter für die Vorhersage der postoperativen Ventrikelfunktion

Die Kombination von Belastungsauswurf-fraktion und endsystolischem Volumenindex hat sich für eine Differenzierung in Patienten mit postoperativ normaler und pathologischer Ventrikelfunktion als besonders geeignet erwiesen. Die Treffsicherheit beträgt 97%. Die Kombination von Ruheauswurf-fraktion mit endsystolischem Volumenindex ermöglicht eine fast ebenso gute Differenzierung mit einer Treffsicherheit von 95%. Dasselbe Verhalten ist mit der Kombination von Auswurf-fraktion unter maximaler Belastung und endsystolischem Volumenindex zu beobachten. Nimmt man statt der Auswurf-fraktion die mittlere normalisierte systolische Auswurf-rate in Kombination mit dem endsystolischen Volumenindex, so ergibt sich mit einer Treffsicherheit von 92% nur eine minimal geringere Aussagefähigkeit. Die entsprechenden, echokardiographisch bestimmbaren Parameter von prozentualer Faserverkürzung und endsystolischem Diameterindex wiesen lediglich eine Treffsicherheit von 85% auf. Mit einer prozentualen Faserverkürzung von 25% und einem endsystolischen Diameter von 55 mm entsprechend einem Index von etwa 33 mm/m^2 konnte Henry (42, 43) eine Patientengruppe identifizieren, die ein hohes Risiko aufwies, an einer Herzinsuffizienz zu sterben, ein Befund, der von anderer Seite nicht bestätigt wurde (25, 29, 70).

5.3.5.7. Wert der Kombination von enddiastolischem Volumen und endsystolischem Volumen bzw. enddiastolischem Diameter und endsystolischem Diameter für die Vorhersage der postoperativen Ventrikelfunktion

Mit der Kombination von enddiastolischem Volumenindex und endsystolischem Volumenindex bzw. den echokardiographisch bestimmbaren Parametern von enddiastolischem Diameterindex und endsystolischem Diameterindex läßt sich eine Trennung mit einer Treffsicherheit von 92% bzw. 85% durchführen.

Gaasch (36) konnte mit der Kombination von endsystolischem und enddiastolischem Diameter Patienten identifizieren, die postoperativ eine Normalisierung oder eine bleibende Vergrößerung des linken Ventrikels aufwiesen. Fioretti (29) zeigte, daß Patienten mit einem enddiastolischen Diameter ≥ 75 mm bzw. 43 mm/m^2 und einem endsystolischen Diameter ≥ 50 mm bzw. 29 mm/m^2 keine Normalisierung der Herzgröße oder der Herzmasse erfuhren. Die von ihm angegebenen Grenzen entsprechen weitgehend den von uns ermittelten.

5.3.5.8. Wert der Kombination von spitzensystolischer Wandspannung bzw. endsystolischer Wandspannung und endsystolischem Volumen bzw. endsystolischem Diameter für die Vorhersage der postoperativen Ventrikelfunktion

Die Kombination von spitzensystolischer Wandspannung bzw. endsystolischer Wandspannung und endsystolischem Volumenindex weist eine Treffsicherheit von jeweils 92% auf. Nimmt man an Stelle des endsystolischen Volumens den endsystolischen Diameter, ist die Treffsicherheit mit 88 bzw. 91% nur unbedeutend geringer. Kumpuris (60) zeigte, daß mit Hilfe der Kombination endsystolischer Wandspannung und endsystolischen Diameter Patienten mit postoperativ normalem oder vergrößertem enddiastolischen Diameter identifiziert werden können. Gaasch (36) gab an, daß mit einem endsystolischen Diameterindex $\geq 26 \text{ mm/m}^2$ in Kombination mit der echokardiographisch bestimmten spitzensystolischen Wandspannung alle Patienten erfaßt werden können, die postoperativ eine bleibende Herzvergrößerung aufweisen.

5.3.5.9. Wert der Kombination von Herzminutenvolumen und endsystolischem Volumen für die Vorhersage der postoperativen Ventrikelfunktion

Mit Hilfe der Kombination von Herzindex unter Belastung und endsystolischem Volumenindex ist mit einer Treffsicherheit von 91% ebenfalls eine gute Trennung in postoperativ normale oder pathologische Ventrikelfunktion möglich.

5.3.6. Festlegung des optimalen Operationszeitpunktes mit Hilfe der Parameter zur Erkennung einer postoperativ normalen oder pathologischen Ventrikelfunktion

Es gibt eine Reihe von präoperativen Parametern, die eine Voraussage erlauben, ob die postoperative Ventrikelfunktion normal oder pathologisch sein wird. Die Auswurffraktion unter Belastung mit 50 Watt, die Auswurffraktion in Ruhe, der endsystolische Volumenindex sowie ihre Kombinationen weisen alle eine hohe Treffsicherheit auf. Mit den echokardiographisch bestimmbaren Parametern sowie ihrer Kombinationen ist die gleich hohe Treffsicherheit im allgemeinen nicht zu erzielen (1). Diese Parameter sind jedoch ausreichend, um den Verlauf kontrollieren zu können. Der Wert der Symptomatik mit Ausnahme der Patienten der Klasse IV ist zu vernachlässigen. Für die Vorhersage der postoperativen Ventrikelfunktion sollten so viele präoperative Parameter wie möglich in Betracht gezogen werden. Der optimale Operationszeitpunkt ist dann gegeben, wenn bei Vorliegen einer beträchtlichen oder schweren Regurgitation die genannten Parameter Werte aufweisen, die in dem Übergangsbereich zwischen normaler und pathologischer Ventrikelfunktion liegen, d.h., wenn die Werte sich den ermittelten genannten Grenzen nähern.

5.4. Verhalten des prä- und postoperativen Pulmonalarteriendrucks in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler oder eingeschränkter Ventrikelfunktion

5.4.1. Verhalten bei Patienten mit postoperativ normaler Ventrikelfunktion

Patienten mit postoperativ normaler Ventrikelfunktion zeigen präoperativ unter Belastung eine überhöhte Zunahme des mittleren Pulmonalarteriendrucks (PAP_R 17 mmHg, PAP_{50W} 33 mmHg). Diese im Mittel deutliche Überhöhung beruht auf

dem Verhalten der Hälfte der Patienten, die wiederum zur Hälfte bereits in Ruhe einen pathologischen Pulmonalarteriendruck aufweisen. Die Kranken, bei denen der Druck überhöht ansteigt, zeigen in der Mehrzahl eine Belastungsauswurffrac-tion ($<55\%$). Umgekehrt muß jedoch festgestellt werden, daß bei einer Reihe von Patienten mit einer Belastungsauswurffrac-tion ($<55\%$) der Pulmonalarteriendruck noch im Normbereich liegen kann. Nach Aortenklappenersatz zeigen Patienten mit postoperativ normaler Ventrikelfunk-tion in Ruhe (PAP_v 17 mmHg, PAP_s 12 mmHg) und unter Be-lastung (PAP_v 32 mmHg, PAP_s 26 mmHg) signifikante Ab-nahmen des mittleren Pulmonalarteriendrucks so daß sowohl in Ruhe als auch unter Belastung praktisch bei allen Pa-tienten normale Werte für den Druck im kleinen Kreislauf vorliegen, d.h., daß postoperativ neben normalen Ruhewerten auch bei Belastung ein normaler Pulmonalarteriendruckan-stieg erfolgt. Damit zeigt sich, daß Patienten mit normaler postoperativer Auswurffrac-tion auch normale Werte für den Pulmonalarteriendruck in Ruhe und unter Belastung aufwei-sen.

5.4.2. Verhalten bei Patienten mit postoperativ einge-schränkter Ventrikelfunktion

Patienten mit postoperativ pathologischer Ventrikelfunktion zeigen schon präoperativ unter Belastung eine starke Zu-nahme des mittleren Pulmonalarteriendrucks (PAP_R 32 mmHg, PAP_{50W} 53 mmHg). Unter Belastung wiesen alle Pa-tienten und in Ruhe etwa die Hälfte der Kranken einen pathologisch erhöhten Pulmonalarteriendruck auf. Alle Pa-tienten ließen eine Einschränkung der Auswurffrac-tion ($<55\%$) erkennen.

Nach Aortenklappenersatz wiesen Patienten mit einer post-operativ pathologischen Ventrikelfunktion in Ruhe (PAP_v 32 mmHg, PAP_s 15 mmHg) und unter Belastung (PAP_v 53 mmHg, PAP_s 36 mmHg) eine signifikante Abnahme des mitt-leren Pulmonalarteriendrucks auf. Damit zeigen die meisten

Patienten in Ruhe ein normales Verhalten des Drucks im kleinen Kreislauf und mehr als 1/3 der Patienten auch unter Belastung. Somit ergibt sich, daß Patienten mit postoperativ eingeschränkter Auswurffraktion in Ruhe und sogar unter mäßiger Belastung weitgehend normale Druckverhältnisse aufweisen können. Dies erklärt auch, warum sich die Patienten wesentlich besser fühlen.

5.4.3. Ursache des erhöhten Druckanstiegs im kleinen Kreislauf präoperativ und des Abfalls postoperativ

Da bei den meisten Patienten mit Aorteninsuffizienz eine normale Masse/Volumenrelation, d.h. keine überproportionale Wandhypertrophie, vorliegt, ist der Anstieg des Pulmonalarteriendrucks sowohl in Ruhe als auch unter Belastung überwiegend als Ausdruck einer vermehrten Vordehnung gemäß dem Frank-Starling-Mechanismus und weniger als Folge einer Dehnbarkeitsstörung zu verstehen (44, 45). Ein pathologischer Anstieg des linksventrikulären Füllungsdrucks bei volumenbelasteten Ventrikeln weist somit auf eine gestörte systolische linksventrikuläre Funktion hin. Das geht auch eindeutig aus unseren Daten hervor, bei denen in der Gruppe der Patienten mit postoperativ normaler Ventrikelfunktion praktisch kein Kranker einen pathologischen Druckanstieg im kleinen Kreislauf aufwies, während solche, die postoperativ eine Ventrikelfunktionsstörung hatten, bei denen also primär die Kontraktilität eingeschränkt war, ein Druckanstieg vorhanden sein kann, aber nicht sein muß. Wenn die Lastbedingungen des linken Ventrikels durch den Klappenersatz reduziert werden, nimmt mit der Ventrikelfüllung auch der enddiastolische Ventrikeldruck ab; dann kann die Notwendigkeit eines erhöhten Einsatzes des Starling-Mechanismus nicht mehr gegeben sein. Patienten mit einem postoperativ weiterhin bestehenden überhöhten Druckanstieg im kleinen Kreislauf bleiben überwiegend solche, deren Auswurffraktion zwischen 20 und 30% bzw. sogar unter 20% liegt.

5.5. Verhalten des prä- und postoperativen Herzminutenvolumens in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler oder eingeschränkter Ventrikelfunktion

5.5.1. Verhalten bei Patienten postoperativ mit normaler Ventrikelfunktion

Weder in Ruhe noch unter Belastung (CO_R 6,0 l/min, CO_{50W} 11,0 l/min) findet sich bei Patienten mit postoperativ normaler Ventrikelfunktion eine Einschränkung des Herzminutenvolumens. Somit ist verständlich, daß dieses auch nach Aortenklappenersatz in Ruhe (CO_V 6,1 l/min, CO_S 6,1 l/min) und unter Belastung (CO_V 11,3 l/min, CO_S 11,5 l/min) keine wesentlichen Veränderungen erfährt. Postoperativ ist also unter Belastung ein normaler Anstieg des Herzminutenvolumens vorhanden. So ist davon auszugehen, daß eine normale Auswurf fraktion und ein normaler Pulmonalarteriendruck auch mit einem normalen Herzminutenvolumen einhergehen.

5.5.2. Verhalten bei Patienten mit postoperativ eingeschränkter Ventrikelfunktion

Patienten mit postoperativ eingeschränkter Ventrikelfunktion hatten präoperativ vereinzelt in Ruhe, häufiger jedoch unter Belastung (CO_R 5,2 l/min, CO_{50W} 8,5 l/min) ein vermindertes Herzminutenvolumen bzw. einen verminderten Anstieg. Nach dem operativen Eingriff wiesen Kranke in Ruhe (CO_V 5,0 l/min, CO_S 5,5 l/min) keine wesentlichen Veränderungen auf, unter Belastung wohl aber (CO_V 8,5 l/min, CO_S 9,9 l/min) eine signifikante Zunahme. Die überwiegende Mehrzahl der Patienten hatte postoperativ in Ruhe ein normales Herzminutenvolumen und unter Belastung einen adäquaten Anstieg. Nur bei einzelnen Patienten blieb das Herzminutenvolumen weiterhin eingeschränkt; es sind dies Kranke, die eine stark reduzierte Auswurf fraktion auch postoperativ haben und deren Pulmonalarteriendruck pathologische

Werte aufweist. Insgesamt läßt sich feststellen, daß davon ausgegangen werden kann, daß das Herzminutenvolumen im Krankheitsverlauf von Patienten mit Aorteninsuffizienz sehr spät eine Einschränkung erfährt und, falls dieses der Fall sein sollte, sich postoperativ in der Regel wieder normalisiert, wenn man von den wenigen Patienten mit einer schwer gestörten Ventrikelfunktion absieht.

5.5.3. Mechanismen, die das Herzminutenvolumen aufrechterhalten

Daß sich das Herzminutenvolumen bei Patienten mit Aorteninsuffizienz präoperativ häufig normalisiert, kann damit zusammenhängen, daß bei diesem Herzklappenfehler unter Belastung das Regurgitationsvolumen abnimmt. Eine Herzfrequenzsteigerung hat somit bei Patienten mit Aorteninsuffizienz einen besonders günstigen Effekt auf das Herzminutenvolumen.

5.6. Verhalten der prä- und postoperativen Sauerstoffsättigung in der Art. pulmonalis in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler oder eingeschränkter Ventrikelfunktion

5.6.1. Verhalten bei Patienten mit postoperativ normaler Ventrikelfunktion

Bei Patienten mit postoperativ normaler Ventrikelfunktion fällt die Sauerstoffsättigung in der Art. pulmonalis unter Belastung (O_2Sat_R 67%, O_2Sat_{50W} 50%) normalerweise ab. Nach Aortenklappenersatz ist in Ruhe (O_2Sat_v 67%, O_2Sat_g 70%) ein signifikanter, im Ausmaß aber unbedeutender Anstieg zu erkennen; unter Belastung (O_2Sat_v 51%, O_2Sat_g 50%) ergeben sich im Vergleich zur präoperativen Situation keine wesentlichen Änderungen. So ist der normalerweise zu beobachtende Abfall der Sauerstoffsättigung in der Art. pulmonalis unter Belastung prä- und postoperativ in gleicher Weise nachweisbar.

5.6.2. Verhalten bei Patienten mit postoperativ eingeschränkter Ventrikelfunktion

Präoperativ weisen Patienten unter Belastung (O_2Sat_R 62%, O_2Sat_{50W} 53%) eine deutliche Abnahme der Sauerstoffsättigung in der Art. pulmonalis auf; nach Aortenklappenersatz findet sich in Ruhe (O_2Sat_v 59%, O_2Sat_s 66%) eine signifikante Zunahme. Unter Belastung ließ sich postoperativ keine wesentliche Änderung beobachten (O_2Sat_v 44%, (O_2Sat_v 44%, O_2Sat_s 47%); immerhin findet sich zwischen der postoperativ normalerweise auftretenden Abnahme auf 50% und der postoperativ bei Patienten mit eingeschränkter Auswurffraktion auftretenden Abnahme auf 47% kein starker Unterschied. Die Sauerstoffsättigung ist ebenfalls ein Zeichen dafür, daß nur wenige Patienten mit einer postoperativ eingeschränkten Auswurffraktion keinen normalen Anstieg des Herzminutenvolumens unter Belastung und damit eine verstärkte Sauerstoffausschöpfung aufweisen.

5.7. Verhalten der prä- und postoperativen Herzfrequenz in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler oder eingeschränkter Ventrikelfunktion

5.7.1. Verhalten bei Patienten mit postoperativ normaler Ventrikelfunktion

Bei Patienten mit postoperativ normaler Ventrikelfunktion steigt die Herzfrequenz präoperativ unter Belastung innerhalb eines normalen Bereiches (HF_R 77 S/min, HF_{50W} 111 S/min) an. Nach Aortenklappenersatz wies die Herzfrequenz weder in Ruhe (HF_v 77 S/min, HF_s 72 S/min) noch unter Belastung (HF_v 111 S/min, HF_s 107 S/min) wesentliche Veränderungen auf, d.h., die Herzfrequenz liegt in Ruhe in einem normalen Bereich und steigt unter Belastung innerhalb normaler Grenzen an.

5.7.2. Verhalten bei Patienten mit postoperativ eingeschränkter Ventrikelfunktion

Patienten mit postoperativ eingeschränkter Ventrikelfunktion zeigten präoperativ unter Belastung einen Anstieg der Herzfrequenz (HF_R 84 S/min, HF_{50W} 117 S/min). Nach dem operativen Eingriff war eine signifikante Abnahme der Herzfrequenz in Ruhe (HF_v 84 S/min, HF_s 77 S/min) zu beobachten; unter Belastung (HF_v 117 S/min, HF_s 112 S/min) fand sich keine signifikante, in der Tendenz aber ebenfalls sichtbare Abnahme. Obwohl sich die Herzfrequenz im Rahmen des Normbereichs in Ruhe und unter Belastung bewegt, ist doch auffällig, daß diese postoperativ eher eine Reduktion erfährt; auch dies spricht dafür, daß die Tachykardie als Kompensationsmechanismus zur Aufrechterhaltung des Herzminutenvolumens herangezogen wird.

5.8. Verhalten des prä- und postoperativen Blutdrucks in Ruhe und unter Belastung bei Patienten mit postoperativ normaler oder eingeschränkter Ventrikelfunktion

5.8.1. Verhalten bei Patienten mit postoperativ normaler Ventrikelfunktion

Patienten mit postoperativ normaler Ventrikelfunktion zeigten präoperativ mit dem eher an der oberen Normgrenze gelegenen systolischen Blutdruck, und dem eher an der unteren Grenze gelegenen diastolischen Blutdruck, wie Herzgesunde unter Belastung, einen Anstieg (RR_R 150/64, RR_{50W} 187/79 mmHg). Nach Aortenklappenersatz wiesen die Patienten eine Abnahme des systolischen Blutdrucks in Ruhe (RR_v 150, RR_s 137 mmHg) und unter Belastung (RR_v 185 mmHg, RR_s 160 mmHg) auf; dies ging einher mit einer Zunahme des diastolischen Blutdrucks in Ruhe (RR_v 64 mmHg, RR_{st} 85 mmHg) und unter Belastung (RR_v 79 mmHg, RR_v 94 mmHg). Damit konnte eine weitgehende Normalisierung des Blutdrucks sowohl in Ruhe als auch unter Belastung erzielt werden.

5.8.2. Verhalten bei Patienten mit postoperativ eingeschränkter Ventrikelfunktion

Diese Patienten zeigen präoperativ unter Belastung eine Zunahme des systolischen und des diastolischen Blutdrucks (RR_R 138/72 mmHg, RR_{50W} 167/86 mmHg) in normalen Grenzen. Nach dem operativen Eingriff ließ der systolische Blutdruck weder in Ruhe (RR_v 140 mmHg, RR_s 140 mmHg) noch unter Belastung (RR_v 167 mmHg, RR_s 170 mmHg) wesentliche Veränderungen erkennen. Dagegen war eine signifikante Zunahme des diastolischen Blutdrucks sowohl in Ruhe (RR_v 75 mmHg, RR_s 90 mmHg) als auch unter Belastung (RR_v 86 mmHg, RR_s 100 mmHg) zu beobachten. So kommt es auch bei Patienten mit einer postoperativ eingeschränkten Ventrikelfunktion zu einer weitgehenden Normalisierung des systolischen und diastolischen Blutdrucks.

5.9. Verhalten der prä- und postoperativen Symptomatik bei Patienten mit postoperativ normaler oder eingeschränkter Ventrikelfunktion

5.9.1. Verhalten bei Patienten mit postoperativ normaler Ventrikelfunktion

Etwa $2/3$ der Patienten mit einer postoperativ normalen Ventrikelfunktion gaben präoperativ unterschiedlich starke Beschwerden an, und nur $1/3$ der Patienten waren beschwerdefrei.

Obwohl keine eindeutige Beziehung zwischen dem Druckverhalten im kleinen Kreislauf und der Symptomatik hergestellt werden kann, ist ein gewisser Zusammenhang jedoch unverkennbar. Nach Aortenklappenersatz klagte praktisch kein Patient mehr über Beschwerden. Dies stimmt mit dem normalen Verhalten von Pulmonalarteriendruck und Herzminutenvolumen gut überein.

5.9.2. Verhalten bei Patienten mit postoperativ eingeschränkter Ventrikelfunktion

Von einzelnen Patienten abgesehen, klagten alle Kranken mit postoperativ eingeschränkter Ventrikelfunktion präoperativ über Beschwerden bei körperlicher Belastung. Auch hier findet sich eine gewisse Übereinstimmung mit dem Verhalten des Pulmonalarteriendrucks, der bei allen Patienten unter Belastung einen überhöhten Anstieg aufwies. Die Mehrzahl der Patienten, die selbst in Ruhe Beschwerden hatten, ließen auch ein eingeschränktes Herzminutenvolumen in Ruhe oder unter Belastung erkennen. Nach Aortenklappenersatz waren fast alle Patienten frei von Beschwerden, obwohl der Pulmonalarteriendruck unter Belastung bei der Mehrzahl der Kranken noch einen überhöhten jedoch im Vergleich zu präoperativ weniger stark ausgeprägten Anstieg erkennen ließ.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegenden Untersuchungen wurden durchgeführt, um bei Patienten mit beträchtlicher oder schwerer Aorteninsuffizienz, die eine künstliche Aortenklappe erhielten, prä- und postoperative Änderungen von Ventrikelfunktion und Hämodynamik in Ruhe und unter Belastung zu ermitteln und präoperativ Faktoren zu eruieren, die eine Vorhersage einer postoperativ normalen oder eingeschränkten Auswurfraction erlauben. Ziel dieser Untersuchung war damit letztlich, Kriterien zu erarbeiten, die geeignet sind, den Zeitpunkt der operativen Korrektur exakter als bisher möglich festzustellen, da dieser bei bestehender schwerer Regurgitation und unter Berücksichtigung der von einer künstlichen Herzklappe ausgehenden Probleme im Wesentlichen vom Verhalten der Ventrikelfunktion bestimmt wird.

Dazu wurden bei 37 Patienten - 31 Männer und 6 Frauen - mit chronischer Aorteninsuffizienz und einer Regurgitationsfraction $\geq 50\%$ ohne zusätzliche kardiale oder extrakardiale Erkrankungen präoperativ und etwa 6 Monate postoperativ eine Belastungsuntersuchung mit Ermittlung der globalen und regionalen Auswurfraction, der maximalen Entleerungs- und Füllungsdaten, des Pulmonalarteriendrucks, des Herzminutenvolumens, der Sauerstoffsättigung in der Art. pulmonalis, der Herzfrequenz sowie des Blutdrucks durchgeführt und die Symptomatik gewertet. Die Ergometrie erfolgte nach dem Steady-State-Verfahren an einem drehzahlunabhängigen Fahrradergometer in halbliegender Position mit Belastungsstufen von 50 Watt und jeweils 5 Minuten Dauer. Die Auswurfraction sowie die maximalen Entleerungs- und Füllungsdaten wurden aus dem Radionuklidventrikulogramm ermittelt. Die Druckmessungen im kleinen Kreislauf erfolgten über einen mit Flüssigkeit gefüllten Katheter unter Verwendung eines extrakorporal befindlichen elektromechanischen Druckwandlers.

Das Herzminutenvolumen wurde mittels Thermodilutionsmethode bestimmt, die Sauerstoffsättigung mit Hilfe eines Reflexionsoxymeters gemessen, die Herzfrequenz dem kontinuierlich mitregistrierten EKG entnommen, der Blutdruck indirekt sphgmomanometrisch ermittelt und die Symptomatik gemäß der NYHA-Klassifikation gewertet. Alle übrigen, präoperativ zur Verfügung stehenden hämodynamischen Daten wurden den Krankenunterlagen nach eingehender Überprüfung bzw. Nachauswertung entnommen. Für die Auswertung wurde aufgrund des Verhaltens der postoperativen Auswurffraktion eine Klassifikation in Patienten mit normaler Auswurffraktion $\geq 55\%$ und solche mit pathologischer Auswurffraktion $< 55\%$ vorgenommen.

Präoperativ findet sich einheitlich in beiden Kollektiven unter Belastung ein signifikanter Abfall der globalen Auswurffraktion, der auch in den regionalen Auswurffraktionen sichtbar wird. Das Verhalten der Belastungsauswurffraktion liefert somit unabhängig vom Ausgangs- und erreichtem Wert keine für die Operationsindikation bedeutsame Information. Unter Belastung wiesen Patienten mit postoperativ normaler Ventrikelfunktion nach Aortenklappenersatz weder einen Anstieg noch einen Abfall der Auswurffraktion auf und verhalten sich somit wie Herzgesunde. Patienten mit postoperativ eingeschränkter Ventrikelfunktion lassen weiterhin wie präoperativ eine Abnahme der Belastungsauswurffraktion erkennen. Beim Vergleich der post- mit den jeweiligen präoperativen Daten wiesen Patienten mit postoperativ normaler Ventrikelfunktion in Ruhe und insbesondere unter Belastung deutliche Zunahmen der z.T. leicht oder mäßiggradig eingeschränkter Auswurffraktion auf. Ein entsprechendes Verhalten spiegeln die regionalen Auswurffraktionen wider. Patienten mit postoperativ pathologischer Ventrikelfunktion erfuhren - jeweils ausgehend von stark eingeschränkten Werten auf etwa 30% - unter Belastung eine geringe signifikante Zunahme, während in Ruhe nur eine Zunahmetendenz erkennbar war. Als Ursache der Verbesserung der Auswurffrak-

tion postoperativ ist eine Reduktion der erhöhten Lastbedingungen anzunehmen.

Die maximalen Entleerungs- und Füllungsraten zeigen sinngemäß in Ruhe und während Belastung prä- und postoperativ ein den Auswurffractionen entsprechendes Verhalten.

Von den mit Hilfe einer Diskriminanzanalyse ermittelten Parametern, die für eine Vorhersage der postoperativen Ventrikelfunktion geeignet sind, erwies sich die linksventrikuläre Auswurffraction unter Belastung mit 50 Watt und einer Grenze von 40% am geeignetsten. Auch die Ruheauswurffraction mit einer Grenze von 45%, die Auswurffraction bei maximaler Belastung mit einer Grenze von 38%, die mittlere normalisierte systolische Auswurfrate mit einer Grenze von $1,27 \text{ sec}^{-1}$ sowie die prozentuale Faserverkürzung mit einer Grenze von 26% gestatten eine weitgehend zuverlässige Vorhersage. Grundsätzlich, aber mit geringerer Treffsicherheit zur Differenzierung ebenfalls geeignet sind endsystolisches Volumen bzw. Dimension, Wandspannung, Pulmonalarteriendruck und Herzindex, während der Symptomatik keine prognostische Bedeutung zukommt. Auch Kombinationen von Auswurffraction, enddiastolischem Volumen, spitzensystolischer bzw. endsystolischer Wandspannung oder Herzindex jeweils mit dem endsystolischen Volumen bzw. die Kombination der entsprechenden echokardiographisch ermittelbaren Parameter gestatten eine weitgehend zuverlässige Differenzierung zwischen postoperativ normaler oder eingeschränkter Ventrikelfunktion. Grundsätzlich sollten für die Vorhersage der postoperativen Ventrikelfunktion sovieler präoperative Parameter wie möglich herangezogen werden.

Patienten mit postoperativ normaler Ventrikelfunktion zeigen präoperativ in Ruhe und unter Belastung überhöhte Pulmonalarteriendrucke, die nach Aortenklappenersatz bei allen Patienten in den Normbereich abfallen. Vergleichsweise lassen Patienten mit postoperativ pathologischer Ventrikelfunktion

funktion präoperativ höhere Drucke in Ruhe und ausgeprägtere Anstiege unter Belastung erkennen. Nach Aortenklappenersatz nimmt der Pulmonalarteriendruck signifikant ab, so daß bei den meisten Patienten in Ruhe und etwa einem Drittel der Patienten unter Belastung normale Druckverhältnisse zu beobachten sind. Dies bedeutet also, daß trotz postoperativ bleibender Einschränkung der Auswurffrac-tion die Drucke im kleinen Kreislauf eine Normalisierung erfahren können.

Einschränkungen des Herzminutenvolumens fanden sich vereinzelt in Ruhe, häufiger jedoch unter Belastung bei Patienten mit postoperativ pathologischer Ventrikelfunktion. Postoperativ wurde in der Regel eine Normalisierung der Ruhe- und Belastungswerte erzielt.

Die Sauerstoffsättigung in der Art. pulmonalis spiegelt im Wesentlichen das Verhalten des Herzminutenvolumens wider.

Die Herzfrequenz wies nach Aortenklappenersatz in beiden Kollektiven sowohl in Ruhe als auch unter Belastung eine abnehmende Tendenz auf. Eine signifikante Reduktion fand sich lediglich bei Patienten mit postoperativ eingeschränkter Ventrikelfunktion in Ruhe.

Der systolische Blutdruck ließ lediglich bei Patienten mit postoperativ normaler Ventrikelfunktion ausgehend von eher hohen präoperativen Werten postoperativ eine Reduktion in Ruhe und unter Belastung erkennen, während er bei Patienten mit postoperativ eingeschränkter Ventrikelfunktion keine signifikante Änderung erfuhr. Der diastolische Blutdruck zeigte dagegen in beiden Kollektiven in Ruhe und unter Belastung eine signifikante Zunahme.

Bei zwei Drittel der Patienten mit postoperativ normaler und bei fast allen Patienten mit postoperativ eingeschränkter Ventrikelfunktion bestanden präoperativ Beschwerden, die von den Patienten beider Kollektive postoperativ nicht mehr angegeben wurden.

Somit kann davon ausgegangen werden, daß Patienten mit postoperativ normaler Ventrikelfunktion nach Implantation einer künstlichen Aortenklappe normale Drucke im großen und kleinen Kreislauf, normale Herzminutenvolumina und eine normale Herzfrequenz in Ruhe und unter Belastung aufweisen. Bei Patienten mit postoperativ eingeschränkter Ventrikelfunktion findet sich nach Aortenklappenersatz bei einem hohen Prozentsatz ebenfalls eine Normalisierung der Druckverhältnisse im kleinen Kreislauf in Ruhe. Unter Belastung kommt es jedoch noch bei der Mehrzahl der Patienten, insbesondere bei denjenigen mit stärker eingeschränkter Auswurfraction, zu einem pathologischen Pulmonalarterien- druckanstieg. Herzminutenvolumen, Herzfrequenz und Blutdruck liegen postoperativ weitgehend im Normbereich. Sowohl Patienten mit postoperativ normaler als auch solche mit eingeschränkter Auswurfraction fühlen sich nach Aortenklappenersatz weitgehend beschwerdefrei. Dies weist eine gewisse Übereinstimmung mit der Normalisierung des Pulmonalarteriendrucks in Ruhe bzw. mit dem verringerten Anstieg unter Belastung auf.

Die subjektive Beschwerdefreiheit und die Normalisierung bzw. Besserung der Hämodynamik sollen jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, daß eine bestehenbleibende Einschränkung der Ventrikelfunktion den weiteren postoperativen Verlauf ungünstig beeinflußt. Der optimale Operationszeitpunkt ist deshalb dann erreicht, wenn bei einer beträchtlichen Aortenregurgitation die ermittelten Parameter Werte aufweisen, die im Übergangsbereich zwischen normaler und

pathologischer Ventrikelfunktion liegen, d.h., wenn sie sich den ermittelten Grenzen nähern. Diese Operationsindikation gilt auch dann, wenn der Patient keine Beschwerden verspürt oder die Druckverhältnisse im kleinen Kreislauf in Ruhe und unter Belastung normal sind. Eine solche Befundkonstellation findet sich allerdings bei beginnender Einschränkung der Auswurffrac tion nur selten.

7. LITERATURVERZEICHNIS

1. Abdulla, A.M., M.I. Frank, M.I. Canedo, M.A. Stefadouros:
Limitations of echocardiography in the assessment of left ventricular size and function in aortic regurgitation.
Circulation 61(1981), 148
2. Acar, J., Ph. Luxereau, P. Ducimetiere, M. Cadilhac, H. Jallut, A. Vahanian: Prognosis of surgically treated chronic aortic valve disease: Predictive indicators of early postoperative risk and long-term survival, based on 439 cases. J. Thoracic Cardiovasc. Surg. 82(1981), 114
3. Ashburn, W.L., H.R. Schelbert, J.W. Verba:
Left ventricular ejection fraction: A review of several radio-nuclide angiographic approaches using the scintillation camera. Progr. Cardiovasc. Dis. 20(1978), 267
4. Bacharach, S.L., M.V. Green, J.S. Borer, J.E. Hyde, S.P. Farkas, G.S. Johnston:
Left-ventricular peak ejection rate, filling rate, and ejection fraction - Frame rate requirements at rest and exercise: Concise communication. J. Nucl. Med. 20(1979), 189
5. Bar-Shlomo, B.Z., M.N. Druck, J.E. Morch, G. Jablonsky, J.D. Hilton, D.H.I. Feiglin, P.R. McLaughlin:
Left ventricular function in trained and untrained healthy subjects. Circulation 65(1982), 484
6. Bauer, R., E. Sauer, R. Truckenbrodt, H. Langhammer, H.W. Pabst, H. Sebenig, A. Witzfeld, H. Blömer:
Die linksventrikuläre Herzfunktion in Ruhe und unter Ergometerbelastung. Herz 5(1980), 159
7. Bonow, R.O., J.S. Borer, D.R. Rosing, W.L. Henry, A.S. Pearlman, C.L. McIntosh, A.G. Morrow, S.E. Epstein:
Preoperative exercise capacity in symptomatic patients with aortic regurgitation as predictor of postoperative left ventricular function and long-term prognosis. Circulation 62(1980), 1280
8. Bonow, R.O., D.R. Rosing, K.M. Kent, S.E. Epstein:
Timing of operation for chronic aortic regurgitation. Am. J. Cardiol. 50(1982), 325
9. Bonow, R.O., D.R. Rosing, C.L. McIntosh, M. Jones, B.J. Maron, K.K.G. Lan, E. Lakatos, S.L. Bacharach, M.V. Green, S.E. Epstein:
The natural history of asymptomatic patients with aortic regurgitation and normal left ventricular function. Circulation 68(1983), 509
10. Bonow, R.O., D.R. Rosing, B.J. Maron, C.L. McIntosh, M. Jones, S.L. Bacharach, M.V. Green, R.E. Clark, S.E. Epstein:
Reversal of left ventricular dysfunction after aortic valve replacement for chronic aortic regurgitation: Influence of duration of preoperative left ventricular dysfunction. Circulation 70(1984), 570

11. Bonow, R.O.:
Timing of operation for chronic aortic regurgitation: Influence of left ventricular function on clinical management.
Herz 9(1984), 319
12. Borer, J.S., S.L.Bacharach, M.V.Green, K.M.Kent, W.L.Henry, D.R.Rosing, S.F.Seides, G.S.Johnston, S.E.Epstein:
Exercise-induced left ventricular dysfunction in symptomatic and asymptomatic patients with aortic regurgitation: Assessment with radionuclide cineangiography. Am.J.Cardiol.42(1978), 351
13. Borer, J.S., D.R.Rosing, K.M.Kent, S.L.Bacharach, M.V.Green, C.J.McIntosh, A.G.Morrow, S.E.Epstein:
Left ventricular function at rest and during exercise after aortic valve replacement in patients with aortic regurgitation. Am.J.Cardiol. 44(1979), 1297
14. Borow, K.M., L.H.Green, T.Mann, L.J.Sloss, E.Braunwald, J.J.Collins, L.Cohn, W.Grossman:
End-systolic volume as a predictor of postoperative left ventricular performance in volume overload from valvular regurgitation. Am.J.Med. 68(1980), 655
15. Boucher, C.A., J.B.Bingham, H.D.Osbakken, R.D.Okada, H.W.Strauss, P.C.Block, F.H.Levine, H.R.Philipps, G.M.Pohost:
Early changes in left ventricular size and function after correction of left ventricular volume overload. Am.J.Cardiol. 47(1981), 991
16. Boucher, C.A., R.A.Wilson, D.J.Kanarek, A.M.Hutter, R.D.Okada, R.R.Liberthson, H.W.Strauss, G.M.Pohost:
Exercise testing in asymptomatic or minimally symptomatic aortic regurgitation: Relationship of left ventricular ejection fraction to left ventricular filling pressure during exercise. Circulation 67(1983), 1091
17. Boucher, C.A., D.J.Kanarek, R.D.Okada, A.M.Hutter, H.W.Strauss, G.M.Pohost:
Exercise testing in aortic regurgitation: Comparison of radionuclide left ventricular ejection fraction with exercise performance at the anaerobic threshold and peak exercise. Am.J.Cardiol.52(1983), 81
18. Braun, L.O., O.W.Kincaid, D.C.McGoon:
Prognosis of aortic valve replacement in relation to the preoperative heart size. J.Thorac.Cardiovasc.Surg. 65(1973), 381
19. Carabello, B.A., J.F.Spann:
The uses and limitations of end-systolic indexes of left ventricular function. Circulation 69(1984), 1058
20. Carroll, J.D., W.H.Gaasch, M.R.Zile, H.J.Levine:
Serial changes in left ventricular function after correction of chronic aortic regurgitation: Dependence on early changes in preload and subsequent regression of hypertrophy. Am.J.Cardiol.51(1983), 476

21. Clark,D.G., J.H.McAnulty,S.H.Rahimtoola:
Valve replacement in aortic insufficiency with left ventricular dysfunction. *Circulation* 61(1980),411
22. Copeland,J.G., R.B.Griepp, E.B.Stinson, N.E.Shumway:
Long-term follow-up after isolated aortic valve replacement. *J.Thorac.Cardiovasc.Surg.* 74(1977),875
23. Crawford,M.H., D.H.White, K.W.Amon:
Echocardiographic evaluation of left ventricular size and performance during handgrip and supine and upright bicycle exercise. *Circulation* 59(1979),1188
24. Cunha,C.L.P., E.R.Giuliani, V.Fuster, J.B.Seward, R.O.Brandenburg, D.C.McGoon:
Preoperative M-mode echocardiography as a predictor of surgical results in chronic aortic insufficiency. *J.Thorac.Cardiovasc.Surg.* 79(1980),256
25. Daniel,W.G., W.P.Hood, A.Siart, D.Hausmann, U.Nellessen, H.Oelert, P.R.Lichtlen:
Chronic aortic regurgitation: Reassessment of the prognostic value of preoperative left ventricular end-systolic dimension and fractional shortening. *Circulation* 71(1985),669
26. Dehmer,G.J., B.G.Firth, L.D.Hillis, J.R.Corbett, S.E.Lewis, R.W.Parkey, J.J.Willerson:
Alterations in left ventricular volumes and ejection fraction at rest and during exercise in patients with aortic regurgitation. *Am.J.Cardiol.* 48(1981),17
27. Donaldson,R.M., R.Florio, E.Olsen:
Left ventricular mass, volume and biopsy analysis in prediction of ventricular function after surgery for chronic aortic regurgitation. *Herz* 9(1984),333
28. Ekelund,L.G., A.Holmgren:
Central hemodynamics during exercise. *Circ.Res.*20/21 (1967),I-22
29. Fioretti,P., J.Roelandt, R.J.Bos, R.S.Meltzer, D.v.Hoogenjuize, P.W.Serruys, J.Nauta, P.G.Hugenholtz:
Echocardiography in chronic aortic insufficiency: Is valve-replacement too late when left ventricular end-systolic dimension reaches 55 mm? *Circulation* 67(1983),216
30. Firth,B.G.:
The value of rest and exercise radionuclide ventriculography as compared to echocardiography and angiography in the detection of left ventricular dysfunction in patients with chronic aortic regurgitation. *Herz* 9(1984),279
31. Fischl,S.J., R.Gorlin, M.V.Herman:
Cardiac shape and function in aortic valve disease: Physiologic and clinical implications. *Am.J.Cardiol.*39(1977),170

32. Fleck, E., J. Dirschinger, U. Klein, W. Rudolph:
Dissezierendes Aortenaneurysma: Wertigkeit klinischer Symptome
und Befunde für die frühzeitige Diagnose. Herz 3(1978), 261
33. Forman, R., B. G. Firth, M. S. Barnard:
Prognostic significance of preoperative left ventricular ejection
fraction and valve lesion in patients with aortic valve replace-
ment. Am. J. Cardiol. 45(1980), 1120
34. Foster, C., D. S. Dymond, J. D. Anholm, M. L. Pollock, D. H. Schmidt:
Effect of exercise protocol on the left ventricular response
to exercise. Am. J. Cardiol. 51(1983), 859
35. Gaasch, W. H., C. W. Andrias, H. J. Levine:
Chronic aortic regurgitation: The effect of aortic valve re-
placement on left ventricular volume, mass and function.
Circulation 58(1978), 825
36. Gaasch, W. H., J. D. Carroll, H. J. Levine, M. G. Criscitiello:
Chronic aortic regurgitation: Prognostic value of left ventric-
ular end-systolic dimension and end-diastolic radius/thickness
ratio. Am. J. Coll. Cardiol. 1(1983), 775
37. Goldman, M. E., M. Packer, S. F. Horowitz, J. Meller, R. E. Patterson,
M. Kukin, L. E. Teichholz, R. Gorlin:
Relation between exercise-induced changes in ejection fraction
and systolic loading conditions at rest in aortic regurgitation.
Am. J. Coll. Cardiol. 3(1984), 924
38. Goldschlager, N., J. Pfeifer, K. Cohn, R. Popper, A. Selzer:
The natural history of aortic regurgitation: A clinical and
hemodynamic study. Am. J. Med. 54(1973), 577
39. Greenberg, B., B. Maasie, D. Thomas, J. D. Bristow, M. Cheitlin,
B. Broudy, J. Szlachet, G. Krishnamurthy:
Association between the exercise ejection fraction response
and systolic wall stress in patients with chronic aortic in-
sufficiency. Circulation 71(1985), 458
40. Greves, J., S. H. Rahimtoola, J. H. McAnulty, M. DeMots, D. G. Clark,
B. Greenberg, A. Starr:
Preoperative criteria predictive of late survival following
valve replacement for severe aortic regurgitation. Am. Heart J.
101(1981), 300
41. Grossman, W.:
Cardiac catheterization and angiography. Lea & Febiger,
Philadelphia 1980 (Second edition)
42. Henry, W. L., R. O. Bonow, J. S. Borer, J. H. Ware, K. M. Kent, D. R. Red-
wood, C. L. McIntosh, A. G. Morrow, S. E. Epstein:
Observations on the optimum time for operative intervention
for aortic regurgitation: I. Evaluation of the results of aortic
valve replacement in symptomatic patients. Circulation 61
(1980), 471

43. Henry, W.L., R.O. Bonow, D.R. Rosing, S.E. Epstein:
Observations on the optimum time for operative intervention for
aortic regurgitation: II. Serial echocardiographic evaluation
of symptomatic patients. *Circulation* 61(1980), 484
44. Hess, O.M., M. Ritter, J. Schneider, J. Grimm, M. Turina, H.P. Krayen-
bühl:
Diastolic stiffness and myocardial structure in aortic valve
disease before and after valve replacement. *Circulation* 69
(1984), 855
45. Hess, O.M., M. Ritter, J. Schneider, J. Grimm, M. Turina, H.P. Krayen-
bühl:
Diastolic function in aortic valve disease: Techniques of eva-
luation and pre-/postoperative changes. *Herz* 9(1984), 288
46. Hofmann, M., F. Schwarz, G. Schuler, H. Baumann, W. Kübler:
The effect of aortic valve replacement on left ventricular
function at rest and during exercise. *J. Nucl. Med.* 22(1981), 4
47. Huxley, R.L., F.A. Gaffney, J.R. Corbett, B.G. Firth, R. Peshock,
P. Nicod, J.S. Rellas, G. Curry, S.E. Lewis, J.T. Willerson:
Early detection of left ventricular dysfunction in chronic
aortic regurgitation as assessed by contrast angiography,
echocardiography, and rest and exercise scintigraphy. *Am. J.*
Cardiol. 51(1983), 1542
48. Iskandrian, A.S., A.H. Hakki, B. Manno, A. Amenta, S.A. Kane:
Left ventricular function in chronic aortic regurgitation.
J. Am. Coll. Cardiol. 1(1983), 1374
49. Iskandrian, A.S., A.H. Hakki, S.A. Kane, B.L. Segal:
Quantitative radionuclide angiography in assessment of hemodyna-
mic changes during upright exercise: Observations in normal
subjects, patients with coronary artery disease and patients with
aortic regurgitation. *Am. J. Cardiol.* 48(1981), 239
50. Johnson, L.L., E.R. Powers, W.R. Tzall, J. Feder, R.R. Sciacca,
P.J. Cannon:
Left ventricular volume and ejection fraction response to exer-
cise in aortic regurgitation. *Am. J. Cardiol.* 51(1983), 1379
51. Jonson, B.:
Pre- and postoperative exercise studies in patients with con-
genital and chronic rheumatic heart disease. *Verh. Dtsch. Ges.*
Kreislaufforsch. 37(1971), 60
52. Judge, T.P., J.W. Kennedy, L.J. Bennett, R.E. Wills, J.A. Murray,
J.R. Blackmon:
Quantitative hemodynamic effects of heart rate in aortic regur-
gitation. *Circulation* 44(1971), 355
53. Kennedy, J.W., J. Doces, D.K. Stewart:
Left ventricular function before and following aortic valve
replacement. *Circulation* 56(1977), 944
54. Kraus, F., W. Rudolph:
Hämodynamische Untersuchungen bei Patienten mit künstlicher
Aortenklappe oder Mitralklappe auf verschiedenen Belastungs-
stufen. *Herz* 6(1981), 138

55. Kraus, F., W. Rudolph:
Symptoms, exercise capacity and exercise hemodynamics: Interrelationships and their role in quantification of the valvular lesion. Herz 9(1984), 187
56. Kraus, F., L. Goppel, S. Dacian, K. Ulm, W. Rudolph:
Präoperative Ventrikelfunktion und postoperative Belastungshämodynamik bei Patienten mit Aorten- oder Mitralklappenfehlern. Herz 6(1981), 310
57. Kraus, F., S. Dacian, W. Rudolph:
Belastungsuntersuchungen bei valvulärer Herzerkrankung und Herzklappenersatz. Herz 7(1982), 144
58. Krabenbühl, H. P., M. Turina, O. M. Hess, M. Rothlin, A. Senning:
Pre- and postoperative left ventricular contractile function in patients with aortic valve disease. Br. Heart J. 41(1979), 204
59. Kress, P., H. Miesner, H. Siegel, S. Wieshammer, M. Strauch, W. E. Adam:
Die Radionuklidventrikulographie bei Aorten- und Mitralklappenfehlern: Untersuchungen vor und nach Klappenersatzoperation. Z. Kardiol. 73(1984), 665
60. Kumpuris, A. G., M. A. Quinones, A. D. Waggoner, D. J. Kanon, J. G. Nelson, R. R. Miller:
Importance of preoperative hypertrophy, wall stress and end-systolic dimension as echocardiographic predictors of normalization of left ventricular dilatation after valve replacement in chronic aortic insufficiency. Am. J. Cardiol. 49(1982), 1091
61. Langebartels, F., F. Schwarz:
Beurteilung der linksventrikulären Hypertrophie und Funktion aus Thoraxröntgenbild und EKG vor und nach Aortenklappenersatz. Z. Kardiol. 66(1977), 465
62. Levinson, G. E., M. J. Frank, C. J. Schwartz:
The effect of rest and physical effort on the left ventricular burden in mitral and aortic regurgitation. Am. Heart J. 80(1970), 791
63. Lewis, R. P., D. Bristow, H. E. Griswold:
Exercise hemodynamics in aortic regurgitation. Am. Heart J. 80(1970), 171
64. Louagie, Y., C. Brohet, A. Robert, E. Popez, P. Jaumin, J. C. Schoevaerdt, C. H. Chaland:
Factors influencing postoperative survival in aortic regurgitation. J. Thorac. Cardiovasc. Surg. 88(1984), 225
65. Marx, P., H. Borkowski, M. J. Sands, S. Wolfson, H. J. Berger, B. L. Zaret:
Exercise left ventricular performance in aortic regurgitation: Dissimilar responses in supine and upright positions. Circulation 66(1982), Suppl. II, II-354
66. Massie, B. M., B. L. Kramer, D. Loge, N. Tropic, B. H. Greenberg, M. D. Cheitlin, J. D. Bristow, R. C. Byrd:
Ejection fraction response to supine exercise in asymptomatic aortic regurgitation: Relation to simultaneous hemodynamics measurements. J. Am. Coll. Cardiol. 5(1985), 847

67. Mehmel, H.C., B. Hasper, H. Zebe, T. Maemura, W. Schmitz, W. Kübler:
Die linksventrikuläre Funktion bei Aortenklappenstenose und -insuffizienz präoperativ und nach prothetischem Aortenklappen- ersatz. Z. Kardiol. 67 (1978), 242.
68. Mudra, H., W. Rudolph:
Langzeitverlauf nach Aorten- oder Mitralklappenersatz. Herz 11 (1986), 97
69. Neuhaus, K.L., U. Tebbe, H. Kreuzer:
Der Einfluß körperlicher Belastung auf die diastolische Druck- Volumen-Beziehung des linken Ventrikels. Z. Kardiol. 68 (1979), 791
70. Olshausen, v. K., F. Schwarz, H. Storch, H.C. Mehmel, W. Kübler:
Prognostische Wertigkeit des präoperativ ermittelten endsysto- lischen linksventrikulären Durchmessers bei Patienten mit chro- nischer Aorteninsuffizienz: Eine echokardiographische Studie. Z. Kardiol. 72 (1983), 740
71. Osbakken, M.D., C.A. Boucher, R.D. Okada, J.B. Bingham, H.W. Strauss, G.M. Pohost:
Spectrum of global left ventricular responses to supine exercise. Am. J. Cardiol. Vol. 51 (1983), 35
72. O'Toole, J.D., E.A. Geiser, P.S. Reddy, E.I. Curtiss, R.M. Landfair:
Effect of preoperative ejection fraction on survival and hemo- dynamic improvement following aortic valve replacement. Circulation 58 (1978), 1175
73. Pantely, G., M.Morton, S.H. Rahimtoola:
Effects of successful, uncomplicated valve replacement on ventricular hypertrophy, volume, and performance in aortic stenosis and in aortic incompetence. J. Thorac. Cardiovasc. Surg. 75 (1978), 383
74. Peter, C.A., R.H. Jones:
Cardiac response to exercise in patients with chronic aortic regurgitation. Am. Heart J. 104 (1982), 85
75. Peter, C.A., R.H. Jones:
Effects of isometric handgrip and dynamic exercise on left- ventricular function. J. Nucl. Med. 21 (1980), 1131
76. Rahimtoola, S.H.:
Early valve replacement of preservation of ventricular function. Am. J. Cardiol. 40 (1977), 472
77. Rahimtoola, S.H.:
Valve replacement should not be performed in all asymptomatic patients with severe aortic incompetence. J. Thorac. Cardiovasc. Surg. 79 (1980), 163

78. Rapaport, E.:
Natural history of aortic and mitral valve disease.
Am. J. Cardiol. 35 (1985), 221
79. Ricci, D.R.:
Afterload mismatch and preload reserve in chronic aortic regurgitation. Circulation 66 (1982), 826
80. Ross, J.:
Left ventricular function and the timing of surgical treatment in valvular heart disease. Ann. Intern. Med. 94 (1981), 498
81. Ross, J.:
Afterload mismatch in aortic and mitral valve disease: Implications for surgical therapy. J.Am.Coll.Cardiol. 5 (1985), 811
82. Rudolph, W., F. Kraus, H. Mudra, K. Dennig, S. Dacian, K.L. Froer:
Erkennung und Beurteilung der infektiösen Endokarditis.
Herz 8 (1983), 241
83. Rudolph, W., L. Goppel, K.L. Froer:
Valvuläre Herzerkrankung.
Monatskurse für die ärztliche Fortbildung 27, Nr. 15 (1977), 712.
84. Rudolph, W., L. Goppel:
Invasive kardiologische Diagnostik bei erworbenen Herzfehlern.
Med. Klin. 73, Nr. 3 (1978), 106
85. Samuels, D.A., G.D. Curfman, A.L. Friedrich, M.J. Buckley, W.G. Austen:
Valve replacement for aortic regurgitation: Long-term follow-up with factors influencing the results. Circulation 60 (1979), 647
86. Schuler, G., K.L. Peterson, A.D. Johnson, G. Francis, A. Ashburn, G. Dennish, P.O. Daily, J. Ross:
Serial noninvasive assessment of left ventricular hypertrophy and function after surgical correlation of aortic regurgitation.
Am. J. Cardiol. 44 (1979), 585
87. Schwarz, F., W. Flameng, J. Thorman, M. Sesto, F. Langebartels, F. Hehrlein, M. Schlepper:
Recovery from myocardial failure after aortic valve replacement.
J. Thorac. Cardiovasc. Surg. 75 (1978), 854
88. Schwarz, F., W. Flameng, F. Langebartels, M. Sesto, P. Walter, M. Schlepper:
Impaired left ventricular function in chronic aortic valve disease: Survival and function after replacement by Björk Shiley prosthesis. Circulation 60 (1979), 48
89. Schwarz, F., P. Baumann, J. Manthey, M. Hoffmann, G. Schuler, H. Mehmel, W. Schmitz, W. Kübler:
The effect of aortic valve replacement on survival.
Circulation 66 (1982), 1105

90. Schwarz, F., H. Schaffft, K. Federlin, W. Kübler:
Natürlicher Verlauf von Aortenklappenvitien. Die Bedeutung
hämodynamischer Daten und hämodynamischer Verlaufsbeobachtungen.
Z. Kardiol. 70 (1981), 191
91. Sharma, B., J.F. Goodwin, M.J. Raphael, R.E. Steiner,
R.G. Rainbow, S.H. Taylor:
Left ventricular angiography on exercise. A new method of
assessing left ventricular function in ischaemic heart disease.
Brit. Heart J. 38 (1976), 59
92. Shen, W.F., G.S. Roublin, C.Y.-P. Choong, B.F. Hutton,
P.J. Harris, P.J. Flechter, D.T. Kelly:
Evaluation of relationship between myocardial contractile
state and left ventricular function in patients with aortic
regurgitation. Circulation 71 (1985), 31
93. Shen, W.F., G.S. Roubin, P.J. Fletcher, C.Y.-P. Choong,
B.F. Hutton, P.J. Harris, D.T. Kelly:
Effects of upright and supine position on cardiac rest and
exercise response in aortic regurgitation.
Am. J. Cardiol. 55 (1985), 428
94. Silber, S., M. Schwaiger, U. Klein, W. Rudolph:
Quantitative Beurteilung der linksventrikulären Funktion mit
der Radionuklidventrikulographie: Bestimmung der globalen
Auswurf fraktion nach verschiedenen Auswerteverfahren, Erfassung
der regionalen Auswurf fraktion nach der radiär-segmentalen
Methode. Herz 5 (1980), 146
95. Slutsky, R., J. Karliner, D. Ricci, G. Schuler, M. Pfisterer,
K. Peterson, W. Ashburn:
Response of left ventricular volume to exercise in man assessed
by radionuclide equilibrium angiography. Circulation 60(1979), 565
96. Sold, G., W. Zwehl, K.-L. Neuhaus, H. Kreuzer:
Echokardiographische Dimensionen des linken Ventrikels unter
Ergometerbelastung: Untersuchungen an gesunden Probanden.
Z. Kardiol. 68 (1979), 802
97. Spann, J.F., B.A. Carabello, A.K. Gash, B.S. Denenberg,
R.M. Donner, A.H. Maurer, L.S. Malmud, J.A. Siegel:
Assessment of systolic ventricular muscle function in man:
The endsystolic index. Herz 9 (1984), 255
98. Stein, R.A., D. Michielli, J. Diamond, B. Horwitz, N. Krasnow:
The cardiac response to exercise training: Echocardiographic
analysis at rest and during exercise.
Am. J. Cardiol. 46 (1980), 219
99. Steingart, R.M., C. Yee, L. Weinstein, J. Scheuer:
Radionuclide ventriculographic study of adaptations to exercise
in aortic regurgitation. Am. J. Cardiol. 51 (1983), 483

100. Stone, P.H., R.D. Clark, N. Goldschlager, A. Selzer, K. Cohn:
Determinants of prognosis of patients with aortic regurgitation
who undergo aortic valve replacement.
J. Am. Coll. Cardiol. 3 (1984), 1118
101. Thompson, R., M. Ahmed, R. Seabra-Gomes, G. Ilsley, A. Richards,
M. Towers, M. Yacoub:
Influence of preoperative left ventricular function on results
of homograft replacement of the aortic valve for aortic
regurgitation. J. Thorac. Cardiovasc. Surg. 77 (1979), 411
102. Toussaint, C., A. Cribier, J.L. Cazor, R. Soyer, B. Letac:
Hemodynamic and angiographic evaluation of aortic regurgitation
8 and 27 months after aortic valve replacement.
Circulation 64 (1981), 456
103. Turina, J., M. Turina, M. Rothlin, H.P. Krayenbühl:
Improved late survival in patients with chronic aortic
regurgitation by earlier operation.
Circulation 70, Suppl. I, (1984), 1-147.
104. Zile, M.R., W.H. Gaasch, H.J. Levine:
Left ventricular stress-dimension-shortening relations before
and after correction of chronic aortic and mitral regurgitation.
Am. J. Cardiol. 56 (1985), 99

L E B E N S L A U F

Name: Caroline Susan Rudolph

Geburtsdatum: 12. September 1957

Geburtsort: London

Eltern: Werner Rudolph, Arzt
Susi Rudolph, geb. Whitby

Familienstand: Ledig

Schulausbildung: 1963 - 1967 Grundschule - München
1967 - 1977 Neusprachliches Gymnasium - München
Erwerb der allgemeinen Hochschulreife
am 24. Juni 1977

Studium der Medizin: Sommersemester 1978 - Wintersemester 1978/79
Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Sommersemester 1979 - Sommersemester 1986
Ludwigs-Maximilians-Universität München

Ärztliche Vorprüfung am 26. August 1980

Erster Abschnitt der ärztlichen Prüfung
am 27. August 1981

Zweiter Abschnitt der ärztlichen Prüfung
am 20. März 1984

Dritter Abschnitt der ärztlichen Prüfung
am 7. Mai 1985

Erlangung der Approbation am 15. Mai 1985

Berufliche Tätigkeit: Assistenzärztin seit 1. Juli 1985
im Deutschen Herzzentrum - München

